

ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と 制御に関する研究

清 野 嘉 之⁽¹⁾

KIYONO, Yoshiyuki: Dynamics and Control of Understories
in *Chamaecyparis obtusa* Plantations

要 旨: 本研究は、照葉樹林帯のヒノキ人工林を対象に、その下層群落の動態を把握し、構造を改善する方法を明らかにするために行ったものである。下層群落の植被率や葉の生産量、種数などの挙動には光条件が最も効いていた。ついで乾湿条件が影響を及ぼしていた。そこで、ヒノキの樹冠構造を調べ、それを基に相対照度の表示方法を工夫した。新しい表示方法は林冠量を適切に表す。また、間伐や枝打が林冠量に及ぼす影響を予測し、間伐や枝打後の林冠量の経年変化を予測することができる。次に、MONSI・OSHIMA (1955) の考え方を発展させ、任意の相対照度下の下層群落高の成長や植被率の増加を推定する手法を工夫した。これらの成果を合わせた下層群落の動態モデルによって、種々の保育・乾湿条件下の林内相対照度や下層群落高の経年変化を推定し、無処理（非疎開）林分では40年生以降に下層群落高が高まる、林冠疎開によって成長は促されるが若齢林分では効果が少ない、成長には乾湿条件が影響を及ぼしている、などのことを示した。また、土地生産力の低下を防ぐために、下層群落を望ましい状態に変える方法を示した。本モデルは保育・乾湿条件、林齢の異なる様々な林分に当てはまる。これによって、① 下層群落の高さ及び低木層・草本層植被率の変化を推定し、かつ ② 保育履歴及び乾湿条件がそれらに及ぼす影響を評価し、さらに、③ 下層群落の状態を変える適切な保育方法を検討することがはじめて可能になった。

目 次

1 序 論	2
2 下層植物群落の動態の解析	4
2.1 立地区分と林内環境	5
2.2 下層植物群落の植被率と高さ	21
2.3 下層植物群落の葉量と葉の生産量	30
2.4 下層植物群落の現存量と純生産量	37
2.5 下層植物群落の種数と繁殖体の供給	39
2.6 下層植物群落の諸量に及ぼす閉鎖林冠下の下刈の影響	50
2.7 考 察	54
2.8 摘 要	56
3 下層木本植物の空間・年齢構造の解析	57
3.1 解析方法の検討	57

3.2 下層木本植物の空間構造	63
3.3 下層木本植物の齡構造	67
3.4 考 察	73
3.5 摘 要	73
4 下層植物群落の動態モデル	74
4.1 林内相対照度の推定	74
4.2 下層植物群落の高さ・植被率の推定	91
4.3 モデルから導かれる結論	101
4.4 考 察	112
4.5 摘 要	113
謝 辞	115
引 用 文 献	116
Summary	121

1 序 論

皆伐人工植栽によって造られたスギ、ヒノキなどの常緑針葉樹単純一斉林は、通常、成林時からしばらくの間下層植物群落をほとんど欠く。そのため、林地のリターや土が流亡しやすく、林地に供給される植栽木以外のリターの種類や量も限られて林地から養分が失われやすい。この状態は土地生産力を維持するうえで好ましくない。古くより人工造林化が行われてきた先進林業地では、しばしば土地生産力の低下が深刻な問題となっている（明永，1941；四手井，1967）。また、後発林業地においても、土地生産力の低下は今後憂慮さるべき問題である。

しかし、皆伐人工植栽は森林造成の方法として多くの長所を持つので、下層植物群落を発達させ上記の短所を緩和することが望ましい（本多，1928；明永，1941；杉浦，1962；川名ほか，1963；黒鳥，1967；四手井，1967）。

下層植物群落をよりよい構造に導くためには、その動態を把握し、構造を制御する方法を知る必要がある。しかし、下層植物群落の動態や制御に関するこれまでの研究例が少なく、得られた知見もごく限られている。

人工林における雑草木、つまり、下層植物群落を含むいっさいの植物を扱ったこれまでの研究を概観すると、雑草木に対する林学の研究者の見方には大きく分けて二つあり、研究の進め方にも見方が反映している。一つは雑草木を光や水、養分などの摂取において競い合う植栽木の競争相手とする見方である。新植地の雑草木に対してはこれが主であり、この場合、防除の観点から雑草木を扱った研究が多い（例えば谷本，1980 a；b）。成林後の林分でも二段林造成に関して間伐など保育の前後の雑草木の変化が調べられている（複層林施業班，1983）。いま一つの見方は、人工林における物質生産と循環の直接、間接の担い手として雑草木を位置づけ、評価するものである。林内雑草木（下層植物群落）に対してはこの見方が主となり、林床における物質生産や養分吸収保持、植栽木とは異なる種類のリターの供給、

あるいは雨滴や地表流下水による侵食の軽減などを下層植物群落の機能として評価して、これらの諸機能と下層植物群落の量や種類などのかかわりを定量的に明らかにしようとする研究が進められている（杉浦，1962；川名ほか，1963；河野・難波，1964；佐藤，1973；薄井・加藤，1976；及川，1977；山本^(和)・武田，1979；赤井ほか，1980；1981 a；吉村ほか，1981；井上ほか，1982；清野，1988 a）。

後者の見方に立った研究は、下層植物群落の導入の意義を明らかにするうえで重要である。しかし、機能の解析に比べて下層植物群落の由来や成立過程など構造の解析は不十分である（清野，1983）。下層植物群落の構造を扱った研究には、二段林造成に関したものの（複層林施業班，1983）のほか、種組成の解析（薄井，1966；高橋，1968；佐々木，1978；辻村ほか，1980）や林床型区分（前田・宮川，1970）、構成種の空間構造（山本ほか，1977；赤井ほか，1981 b）や齡構造（布谷，1978；1979；清野，1983；1986）及び生活史全般（河野，1984）に関するものがある。しかし、成林以来失われた下層植物群落が再生する過程を、環境条件と結びつけて解析した例はない。また、現存量や生産量などが調べられていても事例的であるために要因をとらえることは難しい。従って、まず、下層植物群落の動態を明らかにする必要がある。

複層林施業に関する研究では下層木の成長制御を目的とする種々の解析が行われており（例えば複層林施業班，1983）、その一つとして下層植物群落の構造を制御するための間伐、枝打方法が検討されている。しかし、林内環境に大きな影響力を持つ林冠（武田ほか，1977）構造に対する保育条件や立地条件の影響はほとんど解析されていない。また、林内環境と下層植物群落の種組成及び成長との関係の解析も不十分である。従って、下層植物群落の構造の制御を可能とするには、保育や立地条件が林冠ひいては林内環境に及ぼす影響を明らかにし、さらに主要な環境要因と下層植物群落の挙動との量的関係を詳しく明らかにする必要がある。

我が国で大面積に造られる常緑針葉樹の人工林は、アカマツ林とクロマツ林、スギ林、ヒノキ林である。アカマツあるいはクロマツの単純林は林冠葉量がそれぞれ $6.4 \pm 1.3 \text{ t/ha}$ あるいは $7.7 \pm 2.1 \text{ t/ha}$ （TADAKI，1977）と比較的少なく、林内相対照度が高い。川那辺（1974）によるとアカマツ林のそれは 20.0% に達する。そのため、林分密度の高い若齢林分でもある程度の下層植物群落が発達する。一方、スギ人工林は林分葉量が多い（TADAKI，1977）うえに若齢林分では枯死枝葉が落ちにくい（藤森・清野，1983）。そのため、林内相対照度が低くなって下層植物群落を欠きやすい。そしてこの点はヒノキ人工林と同じであるが、それでもスギ落葉の流亡は著しくなく、侵食は起こらないとする見方（四手井，1967）やヒノキ人工林よりも問題が少ないとする意見（河野・難波，1964；吉村ほか，1982；片桐ほか，1982；赤井ほか，1983）がある。スギ人工林についても土地生産力の低下を示唆する事例（国安，1962）はあるものの、ヒノキ人工林の方が土地生産力の低下はより切実な問題であると考えられる。従って、本研究では、下層植物群落の動態を明らかにすることの意義が特に大きいと考えられるヒノキ人工林を対象に取り上げた。

以上の観点から、本研究はヒノキ人工林を対象に下層植物群落の動態を把握し、林地改善の方法を探る目的で行うものである。下記の調査解析を行った。

2 章（下層植物群落の動態の解析）では、積算温度（WI，CI）や乾湿条件、林冠葉量、林内の相対照

度及び温度条件などの状態が明らかな多数のヒノキ人工林を林齢に沿って並べ比べることによって、下層植物群落の植被率、高さ、葉量、葉の生産量、物質生産、種数などの動態を調べた。最も支配的な要因は林内の光条件であった。ついで乾湿条件* が影響力を持った。

3章（下層木本植物の空間・齡構造の解析）では、下層植物群落のうちの木本植物の空間・齡構造を調べ、その成立過程を推定することなどによって下層植物群落の挙動を別な側面から明らかにした。

4章（下層植物群落の動態モデル）では、林冠を種々に疎開した固定試験林で、林冠構造と林内相対照度、下層植物群落の成長を経年的に調べ、それらを基に光条件と乾湿条件を要因とする下層植物群落の動態モデルを作った。また、モデルを通して下層植物群落の挙動を推定し、保育や乾湿条件などがそれらに及ぼす影響を評価した。さらに、既存の知見によって推定結果を検証するとともに、土地生産力の低下を防ぐという目的に照らして望ましい下層植物群落の状態を作る方法について述べた。

注1) 本研究では、植栽から植栽木によって林冠が閉鎖するまでの林を新生林分、その後40年生までの林を若齢林分、40年生以上の林を壮齢林分と呼ぶ。40年生で分けた理由はあとで述べるが、このころを境にヒノキ人工林の状態に種々の変化が起こる。

注2) 林齢は主要生育期の終わりに当たる9月1日時点の満年齢で表した。同一林分で林齢の異なるものがあるのは、調査項目によって調べた時期に数年のずれがあるためである。

2 下層植物群落の動態の解析

調査地域と林分の概況

調査地域は茨城県の加波山、筑波山を中心とする山塊である（Fig. 1）。山体は主に花崗岩その他の深成岩によりなり、古生層及びその変質した変成岩が一部に現れている（斉藤^(登), 1966）。調査林分の標高は120～520 mの範囲にあり、気候帯区分では暖温帯上部に位置する（大沢, 1966）。近くの気象観測点〔柿岡〕、〔真壁〕（日本気象協会, 1966～1975; 1984; 1985）では12月から翌年1～2月までの降水量がやや少ないほかは、年間を通じてある程度の頻度と強度の降水が観測されている。年降水量は約1200 mmである。近くの社寺境内ではスダジイあるいはアカガシの優占する照葉樹林が見られる。

調査対象は38林分のヒノキ人工林（以下、人工の字を略す）（Table 1）である。地形や林齢、保育履歴などの条件範囲ができる限り広く得られるように選んだ。1985年9月の時点で調査林分の林齢は16～76年、平均樹高（後述）は7～22 mの範囲にある。3林分（Nos. 10, 29, 30: Table 1, 以下同）は間伐後間もない未閉鎖林分、ほかは十分閉鎖した林分である。土は褐色森林土または黒色土で、乾いたところには $B_B \sim B_D(d)$ あるいは $Bl_D(d)$ 型、中庸から湿ったところには B_D あるいは Bl_D 型の土が現れる。下層の植物群落はシラカシ、アオキ、ヤブコウジなど、ヤブツバキクラス（宮脇, 1977）の種で主に構成されており、乾いたところではコナラ（稚樹）やミヤマナルコユリ、湿ったところではヤマアジサイ、ホウチャクソウ、シケシダなどが見られる。

* 指標植物によってヒノキ林の乾湿の状態を表したもの。土や大気などの乾湿の影響が総合されている。詳しくは後述（2.1.1(2)）。

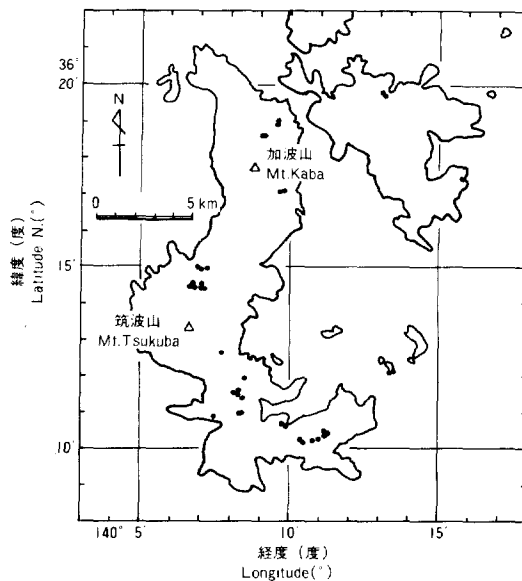


Fig. 1. 調べたヒノキ人工林の位置

Location of study stands of *Chamaecyparis obtusa*.

図中の●は林分の位置。太い実線は 100 m の等標高線。

● in the Fig. shows a location of the study stand.

Thick line shows the 100 m contour.

調査林分の施業履歴を国有林では東京営林局笠間営林署の林班沿革簿と森林調査簿によって、民有林では所有者から聞きとりをして調べた。植栽本数は ha 当たり 3 000~4 000 本、下刈期間は 4~8 年 (平均 6 年)、また、植栽から最終除伐までの期間は 12~18 年 (同 15 年) であった。ツル切りは下刈終了後、最終除伐までに数回行われていた。間伐の実施例は 40 年生のところに材積率 6~10% のものが多かったが、間伐時期 (No. 15) や材積率 (No. 16) の異なる例もあった。枝打の実施例は少なかった。

なお、造林地の世代数や前植生の種類によっても下層植物群落の量や種組成は変わる可能性がある (四手井, 1967; 高橋, 1968)。しかし、それらを明らかにできるヒノキ林の例はごく少なく、影響の検討はできなかった。

2.1 立地区分と林内環境

材料と方法

積算温度 (WI, CI) 及び乾湿条件と下層植物群落の種組成との関係を明らかにするため、1979~1984 年の間で 8, 9 月の時期を選び、38 林分 (Table 1) のそれぞれに 10 m×10 m の方形区を設けた。そして、林冠を構成するヒノキを観察して平均的な樹高の木を選び、その高さ (これを平均樹高とした) を測り、下層植物群落については区内で見られたシダ植物以上の高等植物の種を判別し、被度を測った。低木層は、通常、樹高 50~70 cm 以上の個体からなり草本層とは容易に分けられたが、時に区別が難しいこともあった。その場合は樹高 40 cm 以上のものを低木層個体と見なした。そして、被度の調査結果に基づいて BRAUN-BLAUNQUET (1964) の方法で診断種を選び、調査林分を 3 タイプ (後述) に

Table 1. 調査林分の概要
General descriptions of study plantations.

林分 No. Stand No.	笠間営林署 林小班 Compartment in Kasama forestry office	標高 Alt. (m)	平均斜面 傾斜角 Mean gradient of slope (°)	立地 Site	林齢 Stand age (y)	平均樹高 Mean tree height (m)	A ₀ 層被覆率* A ₀ -layer coverage* (%)	低木層 Shrub layer		草本層 Herb layer		間伐時の林齢 と材積間伐率 Stand age at the thinning, volume ratio of removed stem (y) (%)
								高さ Height (m)	植被率 Coverage (%)	高さ Height (m)	植被率 Coverage (%)	
1	21れ 21re	320	15	乾性 Dry	30	10	78	0	0	0.20	25	
2	21れ 21re	280	25	中性 Mod.	30	12	40	0	0	0.15	1	
3	21へ 21he	350	15	湿性 Wet	56	18	70	1.8	40	0.30	20	
4	21へ 21he	330	13	乾性 Dry	56	14	90	1.0	15	0.20	65	
5	21へ 21he	360	25	中性 Mod.	56	15.5	57	1.8	23	0.20	23	
6	21ぬ 21nu	320	30	乾性 Dry	59	14	50	1.5	20	0.10	5	
7	22く ₃ 22ku ₃	320	18	中性 Mod.	72	16.5	77	3.4	60	0.13	68	**
8	19う 19u	260	10	中性 Mod.	52	16	95	0	0	0.30	70	
9	19う 19u	250	30	乾性 Dry	52	14	65	0.4	10	0.20	10	
10	6れ 6re	200	25	乾性 Dry	45	12.5	85	0.5	25	0.15	70	40 10
11	民地 Private	200	21	中性 Mod.	19	9	—	0	0	0	0	
12	38れ 38re	520	25	中性 Mod.	75	18	60	2.0	50	0.15	10	**
13	38れ 38re	520	15	湿性 Wet	75	21.5	80	4.0	90	0.30	20	**
14	12そ ₅ 12so ₅	200	13	中性 Mod.	76	18	82	2.4	90	0.30	55	35~55 6
15	38に 38ni	250	8	中性 Mod.	34	13.5	—	0	0	0.15	2	26 8
16	17こ 17ko	300	22	中性 Mod.	70	17	62	5.5	99	0.15	4	40 20
17	17さ 17sa	290	20	中性 Mod.	76	19	55	2.5	75	0.20	18	42~47 9
18	17さ 17sa	300	18	乾性 Dry	76	15	70	1.9	23	0.25	65	42~47 9
19	17さ 17sa	280	18	湿性 Wet	76	22	72	5.0	90	0.15	5	42~47 9
20	36ひ ₄ 36hi ₄	120	13	乾性 Dry	74	15	75	1.0	40	0.23	33	
21	36ひ ₄ 36hi ₄	120	15	中性 Mod.	74	18	70	3.5	90	0.10	5	**
22	17な 17na	300	15	中性 Mod.	27	11	77	0	0	0.25	8	
23	6う 6u	310	25	乾性 Dry	70	16	50	2.0	80	0.15	30	40 7

Table 1. (つづき) (Continued)

林分 No. Stand No.	笠間営林署 林小班 Compartment in Kasama forestry office	標高 Alt. (m)	平均斜面 傾斜角 Mean gradient of slope (°)	立地 Site	林齢 Stand age (y)	平均樹高 Mean tree height (m)	A ₀ 層被覆率* A ₀ -layer coverage* (%)	低木層 Shrub layer		草本層 Herb layer		間伐時の林齢 と材積間伐率 Stand age at the thinning, volume ratio of removed stem (y) (%)	
								高さ Height (m)	植被率 Coverage (%)	高さ Height (m)	植被率 Coverage (%)		
24	6う 6u	300	30	中性 Mod.	70	19	50	3.0	80	0.15	30	40	7
25	6う 6u	280	20	湿性 Wet	70	22	60	4.0	90	0.30	40	40	7
26	6む 6mu	280	20	乾性 Dry	22	7	60	0	0	0.20	5		
27	6む 6mu	280	20	中性 Mod.	22	10	40	0	0	0	0		
28	6む 6mu	280	5	湿性 Wet	22	13	40	0	0	0.15	10		
29	6れ 6re	200	25	湿性 Wet	45	17	85	1.0	80	0.20	25	40	10
30	5と 5to	320	20	中性 Mod.	45	15.5	70	1.0	40	0.20	50	40	10
31	22ろ 22ro	340	20	中性 Mod.	17	7.5	30	0	0	0.20	3		
32	19い ₂ 19i ₂	200	20	中性 Mod.	21	8	60	0	0	0	0		
33	19い ₂ 19i ₂	200	10	湿性 Wet	21	11	50	0	0	0.18	5		
34	38に 38ni	280	8	中性 Mod.	34	13	—	0	0	0.15	1		
35	31く 31ku	140	5	湿性 Wet	69	20	70	3.0	40	0.20	30	**	
36	31く 31ku	140	8	中性 Mod.	69	17	87	2.5	55	0.40	40	**	
37	26こ 26ko	180	5	湿性 Wet	58	18.5	95	2.0	30	0.60	80		
38	26こ 26ko	190	10	中性 Mod.	58	16	90	1.0	38	0.20	58		

* 1982年あるいは1983年の9月の値。Measured on Sept. 1982 or 1983.

** 伐根齢から判断して40年生ごろに間伐されている。材積間伐率は不明。

Judging from the number of the annual rings of the stump, a thinning was practiced when the stand was about 40-year-old. The volume ratio of removed stem at the thinning is unknown.

分けた(清野, 1988 b)。

林冠葉量の挙動を明らかにするため, 調査林分の中から16~73年生の12林分を選び林冠葉量を求めた(清野, 1988 b)。1982~1984年の間で11月から翌年3月までの時期を選んで調べた。主要な落葉期の直後であり, 一年を通じて葉の最も少ない時期に当たる。

12林分のうちの4林分(Nos. 11, 15, 17, 19)ではそれぞれ約20 m×20 mの方形区を設け, 区内の個体の胸高直径の頻度分布に合わせて9~10個体のサンプル木を選び伐倒して枝下直径と葉量を測った。ついで, サンプル木の葉量を合わせたものを, サンプル木の胸高断面積合計とha当たりの胸高断面積合計との比を使ってha当たりの値に直した。重量は85℃で十分に乾かした後の絶乾重で表した。

なお, 葉量を測る際に樹冠各部位から少量の葉を選んで当年生部分を切り分け, 葉の年生産量を求めるのに使った。ヒノキの年枝の境は不明瞭なので当年葉と2年生以上の葉を分けることは難しい。しかし, 各林分の伐倒調査に先だち, No. 15林分の優勢木及び劣勢木の樹冠各部位の葉について油性インクで印をつけながら1年間追跡し, 伸長成長の季節パターンを明らかにする(清野ほか, 1984 b)とともに当年葉の特徴を覚え, 当年葉切り分けの精度を高めた。

12林分中の残りの8林分(Nos. 3, 5, 16, 18, 20, 34, 37, 38)では別法によって林冠葉量を求めた。枝下直径と単木葉量との間には異なった林分間でも同じ関係式が成り立つ(SHINOZAKI et al., 1964 a, b) 場合が多い。上記4林分の間でも同様に一定の関係式を当てはめることができた。従って, この式を用いて他林分の単木葉量をその枝下直径から推定することができると考えた。各林分に約20 m×20 mの方形区を設け, 区内の個体の胸高直径の頻度分布に合わせて15~20個体のサンプル木を選び枝下直径を測り, その値を上記4林分のサンプル木から得た枝下直径と単木葉量との関係式に代入し単木葉量を求めた。そして, 上記4林分と同じ方法でha当たりの林冠葉量を求めた。

ただし, 枝下直径と単木葉量との関係にはやや大きなばらつきがあった。回帰からの偏差が正規分布することを仮定して求めた単木葉量の推定値の標準誤差は±24%に達した。また, 枝下直径は枝下高の低い林分では直径巻尺を用いて測り, 枝下高の高い林分では地上からコンパス測量をして測ったが, No. 17林分でコンパス測量の精度を知るため, 測量後に木に登って正確な枝下直径を測り比べたところ, 測量の標準誤差は±16%であった。ほかの林分でも同じ測量誤差があるとする, コンパス測量で枝下直径を求め, さらに, 単木葉量を推定したときの標準誤差は±29%に達する。また, 1林分当たりの測定個体数は15~20本であるので, 林冠葉量の推定値には±7%の標準誤差が含まれる。

下層植物群落の光条件を明らかにするため, 下層植物群落を低木層と草本層とに分け, 各層の受ける平均相対照度を調べた(清野, 1988 b)。

[低木層] 16~73年生の12林分(Nos. 5, 10, 11, 15~20, 29, 37, 38)で1~2か所ずつ計15か所を選び, 低木層の上の相対照度RLIa (Relative Light Intensity a)と低木層の表層で生育するアオキ10数個体の年樹高成長量の平均値(hi)とを調べた。そして, 乾性~湿性の各立地区分(後述)別に両者の関係式: $1/RLIa = a + b/hi$ を求めた。ただし, a, b は最小自乗法で求めた常数で, 乾性立地でそれぞれ-0.235, 4.38 ($r^2 = 0.73^*$), 同中性で-0.0917, 3.94 ($r^2 = 0.73^*$), 同湿性で-0.0493, 5.10 ($r^2 = 0.82^*$)。ついでほかの調査林分のうちアオキの生育するものについて, 方形区内のhiを調

べ、上式に代入して RL1a を推定した。

[草本層] 16~73 年生の 10 林分 (Nos. 4, 5, 11, 15~20, 34) の方形区で低木層植被率と草本層の上の平均相対照度 RL1b (Relative Light Intensity b) とを測った。

照度は測器に東京光学光電池式照度計 SPI-71 形あるいはミノルタデジタル照度計 T-1 を用い、1979~1984 年の間で 9 月の曇天日を選び正午ごろに測った。RL1a, RL1b とともに 1 回の測定における測定点の繰り返しは 50~100 回である。

下層植物群落の温度条件を明らかにするため、乾湿条件が中庸の 27 年生林分 (No. 22) と 76 年生林分 (No. 17) 及び両林分の近くにある林業試験場千代田試験地内に設けた 5 年生スギ間伐・枝打試験林で、それぞれ林冠の疎開状態や下層植物群落の生育状態の異なるところと近くの裸地を選び、最高・最低温度計を 2~4 個ずつ地上高 3 cm の位置に置き、1986 年 4 月から 1987 年の 1 月まで最高・最低気温の季節変化を調べた。ただし、温度計が壊れ欠測したこともあった。

また、光条件との関係を求めるため 1986 年 9 月に温度計の位置で相対照度を測った。測定の繰り返し回数以外は RL1a, RL1b の測定と条件を同じにした。

2.1.1 下層植物群落の種組成に基づく立地区分

(1) 積算温度条件

下層植物群落を構成していたのはシラカシ、アオキ、ヤブコウジなど、主にヤブツバキクラス (宮脇, 1977) の種であった (Table 2)。近くの保存状態の良い照葉樹林の下層植物群落を構成する種 (Table 3) と共通のものが多かった。照葉樹林がやや湿性な立地に偏り、本研究とは、調査面積や精度に違いがあるので単純に比べられない点もあるが、ヒノキ林の下層植物群落の構成種の多くは、照葉樹林に生育する種であると考えられる。

近くの気象観測点 [柿岡], [真壁] の 1966~1975 年の観測結果 (日本気象協会, 1966~1975) から調査林分の暖かさの指数 (WI), 寒さの指数 (CI) を求めたところ、それぞれ 105~97, -7~-9 month・℃ の狭い範囲内に含まれた。調査林分は照葉樹林の分布の低温側の限界, WI 85, CI -10 month・℃ (吉良, 1949) よりやや温暖な位置にある。

この WI, CI に沿った出現種の被度の分布には傾向がなかった*。

* ただしブナ帯のヒノキ人工林では、下層植物群落が著しく乏しくなることがある。箱根駒ヶ岳のブナ林中に造られた 60 年生ヒノキ林 (清野, 1983) では下層植物群落が皆無に等しかった。40 年生ごろに間伐がなされたところでも、いくらか生えていなかった。同様に筑波山頂近くのブナ林中に造られたヒノキ林 (約 60 年生) も下層植物群落がほとんどなかった。前者ではハコネザサ、後者ではミヤコザサ節の種がそれぞれ林外に大きなコロニーを作っていたが、林内へは林縁から少し侵入するだけであった。いずれの林も、照葉樹林帯では下層植物群落が十分発達してよい林齢に達している (Fig. 8 など、詳しくは後述)。それにもかかわらず発達が悪いのは、光条件以外の制約も働いていることを示唆している。光と温度条件の組み合わせをモードで表すと、明るく一寒い、明るく一暖かい、暗く一暖かい、暗く一寒い、の四つが考えられる。明一寒条件には寒さには強いが日当たりを好む植物が育つ。ブナ帯の夏緑植物の多くやササ類など一部の常緑植物がこれに当たる。明一暖条件には寒さに弱くしかも日当たりを好む植物が育つ。照葉樹林帯の夏緑植物や常緑植物の多くがこれに当たる。暗一暖条件には寒さには弱い日陰に耐える植物が育つ。照葉樹林帯の常緑植物の一部がこれに当たる。暗一寒条件には寒さに強く日当たりの悪さに耐える植物が育つが、これは少ない。箱根駒ヶ岳や筑波山でヒノキ林の下層植物群落が乏しかったのは、暗一寒条件で育つ植物がなかったためと考えられる。寡雪地のブナ帯にヒノキ林を造ると、林内に暗一寒条件が生まれ、下層植物群落の発達が抑えられる可能性がある。

Table 2. ヒノキ人工林の下層植物群落の種組成

Floristic composition of understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

立地 Site	← 乾性 Dry →										← 中性 Moderate →										← 湿性 Wet →																	
林分 No. Stand No.	26	1	10	9	4	6	23	20	18	11	31	32	27	22	2	34	15	30	8	5	38	36	24	16	7	21	12	17	14	33	28	29	3	37	35	25	13	19
<i>Quercus serrata</i> (コナラ)**		+	+		+		+		+							+																						
<i>Polygonatum lasianthum</i> (ミヤマナルコユリ)			+				+	+																														
<i>Disporum smilacinum</i> (チゴユリ)	*		+	2	+	1		1	2					+		+	+	+	+	+			+	+	+		+	2	+									
<i>Viburnum erosum</i> (コバノガマズミ)	*		+		+	+	1	+	+					+			+		+	+	+	+														+		
<i>Rhododendron Kaempferi</i> (ヤマツツジ)	*		+		2	1		+	+					+	+			+				+			+		+											
<i>Trachelospermum asiaticum</i> (テイカカズラ)		+	+		1	1		+	+								+	1	+					3				1									+	
<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)		+			+	+		2	1		+	+			+	+	+	+			4		+	1	4	+											+	
<i>Rhus trichocarpa</i> (ヤマウルシ)			1		+		+	+	+					+	+		+	+	+		+	+	+		+	1		+	+								+	
<i>Cymbidium Goeringii</i> (シュンラン)	+	+			+			+					*	+						+			+											+				
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)**		+			+		+	+	+						+						+		+		+													
<i>Dioscorea Tokoro</i> (オニドコロ)				+							+	+	+	+	+			+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Leptogramma mollissima</i> (ミゾシダ)	*											+	*						+		1			+		2	+	*	2		+	5	+	+	+	+		

Helwingia japonica
(ハナイカタ)

Carex dolichostachya
subsp. *multifolia*
(ミヤマカンスゲ)

Astilbe Thunbergii
(アカショウマ)

Sambucus racemosa
subsp. *Sieboldiana*
(ニワトコ)

Gynostemma
pentaphyllum
(アマチャズル)

Stachyurus praecox
(キブシ)

Hydrangea
macrophylla subsp.
serrata
(ヤマアジサイ)

Disporum sessile
(ホウチャクソウ)

Athyrium japonicum
(シケシダ)

Liriope platyphylla
(ヤブラン)

Hydrangea involucrata
(タマアジサイ)

Boehmeria spicata
(コアカソ)

Polygonum filiforme
(ミスヒキ)

Polystichum tripterum
(ジュウモンジシダ)

Polystichum
polyblepharum (イノデ)

+		*	+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+		
			+					+		2			1	+	1	+	
						+	+			+		+	+	+	+		
	+			+		+						+	+		+	+	+
			+		+				+			+	+	+			
+				+				+					+		2	+	

+	4	+	1	2	+	1	+
*	+	+		+	2	+	+
+	1	1	+		+	+	+
	1		+	2			+
	2		+		1	1	+
	1	1			+	+	+
			+	+	+	+	
*	+				+	1	
*			+		+		+

Table 2. (つづき) (Continued)

立地 Site 林分 No. Stand No.	← 乾性 Dry →										← 中性 Moderate →										← 湿性 Wet →																		
	26	1	10	9	4	6	23	20	18	11	31	32	27	22	2	34	15	30	8	5	38	36	24	16	7	21	12	17	14	33	28	29	3	37	35	25	13	19	
<i>Parabenzoin praecox</i> (アブラチャン)																														*	1						1		
<i>Athyrium conilii</i> (ホソバシゲシダ)																																1	+	+					
<i>Cacalia delphiniifolia</i> (モミジガサ)																																+				1		+	
<i>Rumohra Standishii</i> (リョウメンシダ)																														*				5	+				
<i>Houttuynia cordata</i> (ドクダミ)																														*						+	+		
<i>Ardisia japonica</i> (ヤブコウジ)	+	+	3	+	1	1	2	1	3		+	+	+	+	+	4	1	+	+	+	+	3	+	+	+			+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Akebia trifoliata</i> (ミツバアケビ)		+	+	+	+	+	+	+	+		+					+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		
<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)		+		+				+	+	+	+	*	+	+	+		+	+	+	+	+	+	1	1	+		1		*	+			1	1	2	+	3		
<i>Lindera umbellata</i> (クロモジ)	+		2	+	+		2	+	1		+	*	+		+	+	+	+	+	+		1	+	1	+	+	1		+		+	+	+			+	+		
<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	+	+		1	2	3	2	1	+		+						1	+	+	2	1	3		2	1	2		4				+	2	+			2		
<i>Ophiopogon japonicus</i> (ジャノヒゲ)	+			+	+		+	+			+		+	+	+			+		+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	+	+			
<i>Smilax China</i> (サルトリイバラ)		+	+	+	+		+	+					+	+	+		+	+		+	+		+	+	+	+	+			+					+	+	+		
<i>Callicarpa japonica</i> (ムラサキシキブ)			1	+		+										+	+	1		+	+	1	2	+			1	+	2			+		+	1	+	1	+	
<i>Dryopteris erythrosora</i> (ベニシダ)		+		+	+		+		+		+				+		1	1		+					+		2	*		+	+	+	+				1		
<i>Rhus ambigua</i> (ツタウルシ)				+	+	+	+	+	+					+			+	+	+		+			+			+		+				1	+	1		+		

<i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i> (モミジイチゴ)			+	+	+	+		+	+	+					+	+	+		+				+	+			+	+		+								
<i>Prunus</i> spp. (サクラ属)**	+	+	+		+	+	+		+	+			+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+							
<i>Hydrangea hirta</i> (コアジサイ)	+		2		1	+	+					*		+	+	+	+	+	1		+			1			+	+		+								
<i>Ainsliaea apiculata</i> (キッコウハグマ)				+	1	+	2	1	+				+		+		+		+	+		+	+		+	+		+		+								
<i>Neolitsea sericea</i> (シロダモ)				+	+		+		1				+			+			5		+	1			+		+	1		3								
<i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ)				+	+	+		+	+				+	+	+	+	+		+			+	+		+	+	+		+									
<i>Ampelopsis</i> <i>brevipedunculata</i> (ノブドウ)	*		+				+	+	+				+	+		+	+		+	+		+			+	+	+		+									
<i>Celastrus orbiculatus</i> (ツルウメモドキ)			+		+	+		+					+					+	+	+	+	+	+	+		+			+									
<i>Osmunda japonica</i> (ゼンマイ)							+	+					+	+		+					+	+		+	+	+	+	+		+								
<i>Oplismenus</i> <i>undulatifolius</i> (チヂミザサ)			+	+	+		+		+				+	1				+	+			+		+		+												
<i>Carex conica</i> (ヒメカンスゲ)	*					+		+	+				+	3				3		+							+	+										
<i>Callicarpa mollis</i> (ヤブムラサキ)						+	+	+						+		+	+		1	+					+	+		+		1								
<i>Arundinaria chino</i> (アズマネザサ)			5				+						+	1		+	+	+		1		+	*			+												
<i>Elaeagnus glabra</i> (ツルグミ)		+			+		+	+	+				+		+			+	+	+	+			+	+	+	+		+									
<i>Lastrea japonica</i> (ハリガネワラビ)	*		+										+	+	+				+		+			+	+		1		+	+								
種数 Number of species (no./100 m ²)	6	13	35	26	28	31	30	49	40	11	13	16	3	12	13	31	28	26	25	30	39	22	33	24	52	17	35	30	33	8	6	40	33	53	41	51	45	42

* 林縁で見られた。Found at stand edge. ** 稚樹。Seedlings.

どの立地区分でも出現頻度が30%未満の種は省いた。

Species whose frequency was less than 30% in every site class were omitted.

Table 3. 保存状態の良い照葉樹林の下層植物群落を構成する種
Species found in understories in natural stands of evergreen broad-leaved.

種 Species	出現頻度* Frequency* (%)	種 Species	出現頻度* Frequency* (%)
(常緑性 Evergreen)		(落葉性 Deciduous)	
** <i>Dryopteris erythrosora</i> (ベニシダ)	100	** <i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ)	100
** <i>Ardisia japonica</i> (ヤブコウジ)	88	** <i>Oplismenus undulatifolius</i> (チヂミザサ)	75
** <i>Trachelospermum asiaticum</i> (テイカカズラ)	88	** <i>Callicarpa japonica</i> (ムラサキシキブ)	63
** <i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	88	<i>Salvia nipponica</i> (キバナアキギリ)	63
<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>Sieboldii</i> (スダジイ)	88	<i>Stephanandra incisa</i> (コゴメウツギ)	63
** <i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	75	** <i>Disporum sessile</i> (ホウチャクソウ)	50
** <i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	75	** <i>Ainsliaea apiculata</i> (キッコウハグマ)	50
<i>Rubus Buergeri</i> (フユイチゴ)	75	** <i>Hydrangea hirta</i> (コアジサイ)	50
** <i>Liriope platyphylla</i> (ヤブラン)	75	<i>Pertya scandens</i> (コウヤボウキ)	50
<i>Ficus nipponica</i> (イタビカズラ)	63	<i>Pertya robusta</i> (カシワバハグマ)	50
** <i>Ophiopogon japonicus</i> (ジャノヒゲ)	50	<i>Rhynchospermum verticillatum</i> (シュウブンソウ)	50
** <i>Elaeagnus glabra</i> (ツルグミ)	50	** <i>Rhododendron Kaempferi</i> (ヤマツツジ)	38
<i>Camellia japonica</i> (ヤブツバキ)	50	** <i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i> (モミジイチゴ)	38
<i>Rubus hakonensis</i> (ミヤマフユイチゴ)	50	<i>Viola grypoceras</i> (タチツボスミレ)	38
** <i>Dryopteris bissetiana</i> (ヤマイタチシダ)	50	** <i>Viburnum erosum</i> (コバノガマズミ)	38
<i>Cleyera japonica</i> (サカキ)	38	** <i>Osmunda japonica</i> (ゼンマイ)	38
<i>Abies firma</i> (モミ)	38	<i>Viola pumilio</i> (フモトスミレ)	38
<i>Ophiopogon planiscapus</i> (オオバジャノヒゲ)	38		
<i>Skimmia japonica</i> (ミヤマシキミ)	38		
<i>Osmanthus ilicifolius</i> (ヒイラギ)	38		
<i>Kadsura japonica</i> (サネカズラ)	38		
<i>Ligustrum japonicum</i> (ネズミモチ)	38		
<i>Quercus glauca</i> (アラカシ)	38		
<i>Neolitsea sericea</i> (シロダモ)	38		

* 茨城県 Nos. 37~40, 50, 51, 55, 56 (環境庁, 1980), 8 林分中の出現頻度。38%未満の種は省いた。

Frequency in the eight stands of Nos. 37~40, 50, 51, 55, 56 in Ibaraki prefecture (The Environmental Agency, 1980). Species whose frequency was less than 38% were omitted.

** Table 2 との共通種。Also found in Table 2.

(2) 乾湿条件

一方、調査林分の下層植物群落は種組成の違いによって3タイプに分けられた (Table 2)。すなわち、やや乾いたところの指標となる種であるコナラ (稚樹) やミヤマナルコユリがよく見られるタイプと、ヤマアジサイ、ハウチャクソウなど湿ったところの指標となる種がよく見られるタイプ、また、特有の種はないが、その種組成から前の二つの中間に位置すると考えられるタイプの三つである。各タイプは乾湿条件の違いを表していると考えられる。以下は各タイプの成立するところをそれぞれ乾性、中性 (乾性、湿性の中間的なものという意味で、ここでは中性とする)、湿性立地と呼ぶ。

調査地域に含まれる新治郡八郷町では指標植物と土壌型との関係が明らかにされている (藤森ほか, 1989)。それによると、乾性立地の土は $B_B \sim B_D(d)$ または $Bl_D(d)$ 型、中性と湿性立地の土は B_D または Bl_D 型と推定される。

立地区分ごとにヒノキ林の林齢と平均樹高との関係を求め (Fig. 2), 収穫表 (林野庁・林業試験場,

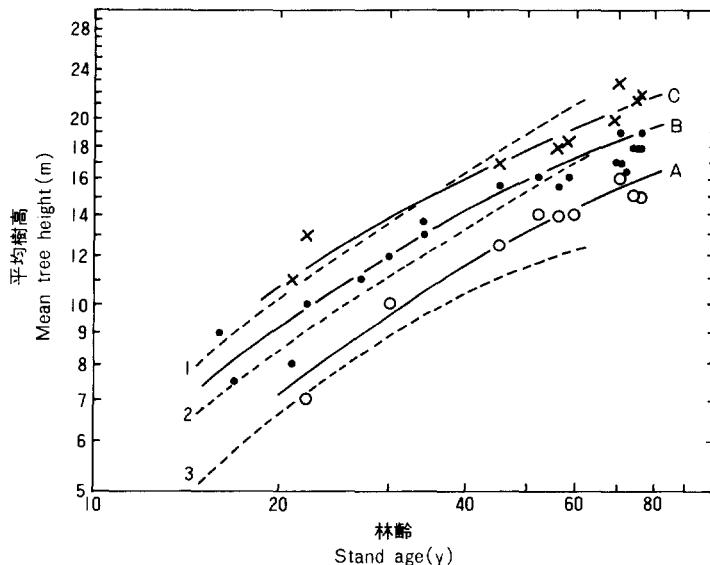


Fig. 2. ヒノキ人工林の林齢と平均樹高の関係 (清野, 1988 b)

Stand age and mean tree height in *Chamaecyparis obtusa* plantations of the three site classes (KIYONO, 1988 b).

立地区分ごとの林齢と平均樹高との関係は $1/H = B_h/Y + A_h$ 。H は林分の平均樹高 (m), Y は林齢 (y)。 A_h , B_h は最小自乗法で求めた常数で、乾性立地で 0.0360, 2.0685 ($r^2=0.97^{**}$), 中性立地で 0.0328, 1.5254 ($r^2=0.96^{**}$), 湿性立地で 0.0311, 1.2765 ($r^2=0.95^{**}$)。実線 A, B, C はそれぞれ乾性、中性、湿性立地における回帰線。破線 1, 2, 3 はそれぞれ収穫表 (林野庁・林業試験場, 1961) の 1, 2, 3 等地の樹高成長 (全林木)。

Relationship: $1/H = B_h/Y + A_h$. H: mean tree height (m). Y: stand age (y).

A_h and B_h : the constants by the least square method.

A_h and B_h : 0.0360 and 2.0685 ($r^2=0.97^{**}$) in the dry, 0.0328 and 1.5254 ($r^2=0.96^{**}$) in the moderate, 0.0311 and 1.2765 ($r^2=0.95^{**}$) in the wet sites.

A, B and C: the relationships in dry, moderate and wet sites.

Broken lines: the mean height growth (all trees) in the 1st class, 2nd class and 3rd class sites of the yield table (Forestry Agency・F. F. P. R. I., 1961) respectively.

1961) の1~3等地の樹高成長(全林木)と比べたところ、乾性立地の樹高成長は2.5等地のそれにはほぼ等しかった。中性と湿性立地では林齢が増すにしたがい樹高成長が特に衰えるため、その地位は40年生ごろを境にそれぞれ1.5から2, 1から1.5等地に下がった。

2.1.2 上層林冠の葉量と林内環境

(1) 林冠葉量

閉鎖林分の林冠葉量 (Table 4, Fig. 3) は16~32年生林分で多く (3林分の平均値と標準偏差 12.8 ± 0.1 t/ha), 55~73年生林分で少なかった (同9, 10.1 ± 0.6 t/ha)。40年生ごろを境に平均2.7 t/ha減ったことになる。壮齡林分の林冠葉量が少ないという傾向はすでに知られている (宮本ほか, 1980)。スギやシラベなどにも似た傾向がある (只木・蜂屋, 1968)。本研究の値は宮本ほか (1980) の2.5 t/ha (ヒノキ) に近い。間伐から時間がたち、林冠が再閉鎖した後の林冠葉量には間伐の影響が認められなかった。ストローブマツなどにも同じ傾向がある (佐藤, 1973)。

なお, Table 4 及び Fig. 3 に示したヒノキの林冠葉量はこれまでに報じられた値 14.0 ± 2.5 (平均値と標準偏差) t/ha (TADAKI, 1977) に比べてやや少ない。これは調査時期が異なるためである。ほかの多くの調査例では、当年葉の成長がほぼ終り秋の本格的な落葉がはじまる前の値もしくはそれに直した値が報じられている。先に述べたとおり、本研究では、秋の落葉期後に葉量を調べており、落葉した分だけ少ない値が得られている。

斎藤(秀) (1974) によると、地位と林冠葉量との間には樹種によって大別して、地位の違いに無関係

Table 4. ヒノキ人工林における林冠葉量と林内相対照度 (RLIa)

Relationship between leaf mass in canopy and relative light intensity (RLIa) in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林 分 No. Stand No.	立 地 Site	林 齢 Stand age (y)	林冠葉量 Leaf mass in canopy			RLIa (%)
			葉重量 Leaf weight (t/ha)	当年葉重量 Current leaf weight (t/ha)	葉面積 Leaf area (ha/ha)	
4	乾性 Dry	55	10.56	—	3.47	2.3
5	中性 Mod.	55	10.87	—	3.60	2.1
11	中性 Mod.	16	12.82*	5.50*	4.62*	0.7
15	中性 Mod.	32	12.74*	4.40*	4.21*	0.9
16	中性 Mod.	67	9.86	—	3.19	2.9
17	中性 Mod.	70	9.97*	2.61*	3.23*	3.7
18	乾性 Dry	70	9.52	—	3.09	4.0
19	湿性 Wet	73	10.74*	2.90*	3.49*	2.5
20	乾性 Dry	72	10.10	—	3.28	2.1
34	中性 Mod.	32	12.91	—	4.27	1.0
37	中性 Mod.	56	9.42	—	3.05	2.8
38	湿性 Wet	56	9.42	—	3.05	2.8

* 伐倒調査による推定。他は別法による (本文参照)。

Estimated by destructive method. Others were by non-destructive method (See the text).

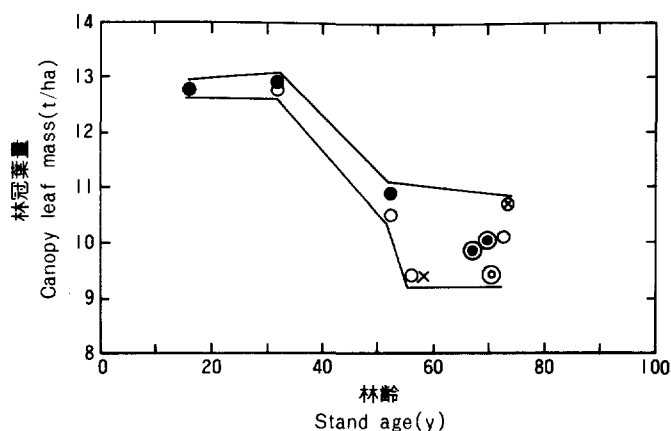


Fig. 3. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と林冠葉量の関係（清野, 1988 b）
Canopy leaf mass in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 b).

- ：乾性立地の無処理林分
Control in dry site
- ：同中性立地
Control in moderate site
- ×：同湿性立地
Control in wet site
- ◎：乾性立地の間伐林分
Thinned stand in dry site
- ⊙：同中性立地
Thinned stand in moderate site
- ⊗：同湿性立地
Thinned stand in wet site

にはほぼ一定の葉量を持つものと地位が低くなると少なくなるものとの二通りの関係があり、ヒノキは前者であるという。乾性～湿性立地の配列は地位の違いを反映していると考えられるので 55～73 年生 9 林分について比べたが、林冠葉量の違いは認められなかった。

(2) 樹高成長と林冠葉量の関係

林冠葉量は葉の年生産量と葉の平均寿命との積と見なせる。葉の年生産量を求めた 4 林分について樹高成長と林冠葉量、葉の年生産量及び葉の平均寿命の関係を求めた (Fig. 4)。

年樹高成長量が増すと葉の年生産量は増え、葉の平均寿命は短くなった。林冠葉量は年樹高成長量が小さいうちはそれに比例して増えるが上限を持った。RLIa は林冠葉量に応じて変わった。これらの関係から判断すると、年樹高成長量が増すに従い葉の年生産量は増すが、一方で樹冠下層の葉がより早くから落ちるために、林冠葉量に上限が生じるものと思われる。壮齢林分では林冠葉量が平均 2.7 t/ha 減ることを前に述べたが、その理由は林分の加齢に伴う樹高成長の衰え (Table 2) にあると考えられる。

同じ現象が地位系列（乾湿条件の違い）に沿って起きているとすると、地位の高い林分は樹高成長が盛んであるので林冠葉量も多くなるはずである。これを確かめるため、Fig. 4 の関係が乾性～湿性立地を通して成り立つと仮定し、Fig. 2 説明文中の式によって求めた年樹高成長量から林冠葉量を推定したところ、例えば 20 年生林分では乾性、中性、湿性立地でそれぞれ 12.3, 12.7, 12.8 t/ha、70 年生

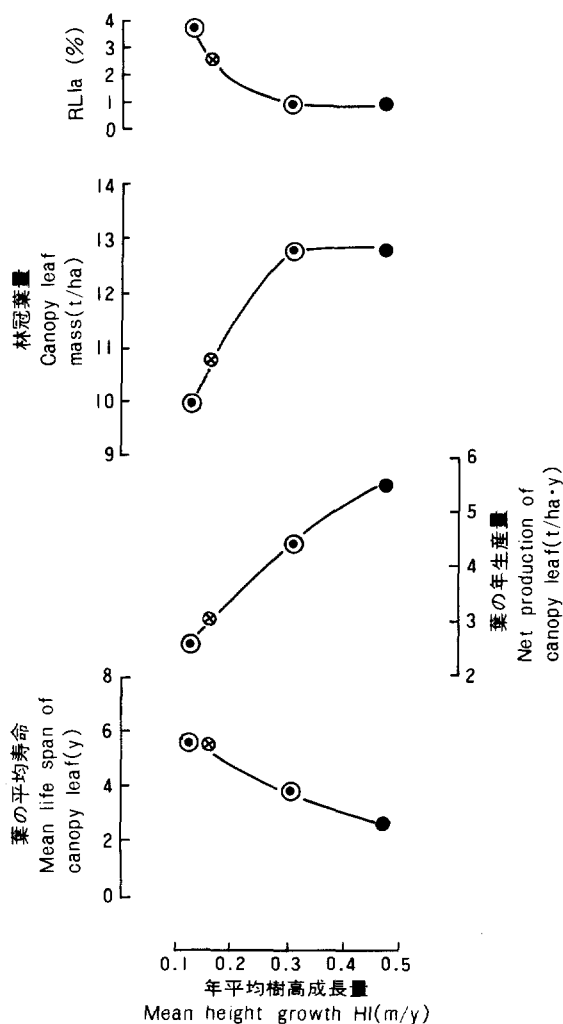


Fig. 4. ヒノキ人工林における平均樹高成長と林冠の葉の諸量, RLIa* の関係
Values of canopy leaves and RLIa* in relation to mean tree height growth in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

* Fig. 5 参照。符号は Fig. 3 と同じ。

* See Fig. 5. Symbols are same as Fig. 3.

林分では同じく 9.5, 9.6, 9.6 t/ha であった。林冠葉量は立地が湿性なほど多いが、乾性～湿性立地間の違いは平均 0.5～0.1 t/ha とわずかであり、この程度の違いは林冠葉量の推定誤差範囲（ここでは ±7%）に含まれてしまう。

以上、閉鎖林分の林冠葉量は林齢に沿って大きく変わるが、乾湿条件に沿ってはさして変わらない。

(3) 林内の光条件

閉鎖林分の RLIa (Fig. 5) は 16～34 年生林分では 2% 以下, 52～76 年生林分では 1～6% の範囲

内にあった。後者では湿性立地の RL1a がやや低い。間伐履歴は無関係であった。閉鎖林分の林齢に沿った RL1a の変化は林冠葉量のそれにほぼ対応している。なお、42 年生の間伐後 2 年目の未閉鎖林分の RL1a は 13~14% の範囲内にあった。

RL1b (Fig. 6) は 1~2% の範囲内にあった。また、低木層植被率に対して凸な曲線で表される関

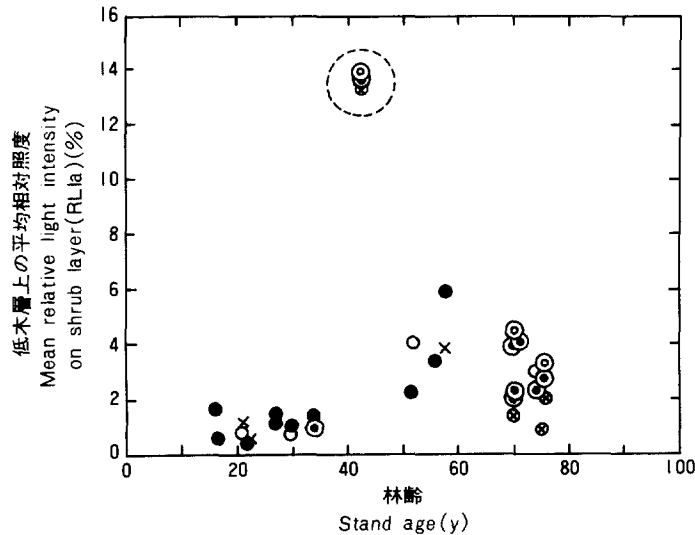


Fig. 5. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と低木層上の平均相対照度 (RL1a) との関係 (清野, 1988 b)

Mean relative light intensity on shrub layer (RL1a) in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 b).

符号は Fig. 3 と同じ。破線内は間伐直後の未閉鎖林分。他は閉鎖林分。

Symbols are same as Fig. 3. Stands in the broken circle were not closed after thinning. Others were closed.

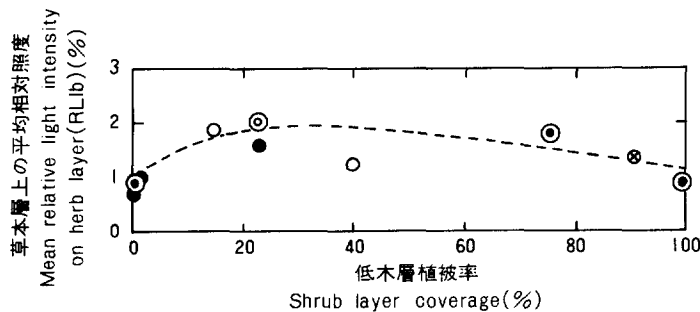


Fig. 6. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の低木層植被率と草本層上の平均相対照度 (RL1b) との関係 (清野, 1988 b)

Mean relative light intensity on herb layer (RL1b) in relation to site class, a history of thinning and shrub layer coverage in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 b).

符号は Fig. 3 と同じ。Symbols are same as Fig. 3.

係にあり、植被率がおよそ 30% のときに最大となった。低木層を透過するときの光の減衰が BEER-LAMBERT の法則に従うと仮定し、RLIa と RLIb, 低木層葉面積 (LAs, 後述) から低木層の葉の吸光係数 K (ただし, $K = -[\ln(RLIa/RLIb)]/LAs$) を求めた。 K は LAs が増すと減った。両者の関係は次式で表せる。

$$K = 1.24 - 0.36LAs \quad (r^2 = 0.89^{**})$$

低木層はその葉面積を増すに従い光をより透しやすい構造に変わることになる。LAs が 2 を上まわる Nos. 16, 19 林分ではシロダモ, アオキなど常緑広葉樹が優占していた。その K はそれぞれ 0.26, 0.39 であり, 常緑広葉樹林の林冠の葉の K , 0.35~0.50 (只木・蜂屋, 1968) に匹敵する。

(4) 林内の温度条件

地表面付近の温度の状態は相対照度の値によって異なった (Fig. 7)。最高気温は相対照度 20% 以下の範囲では照度が増すに従い上がった。そして, 相対照度がより大きくなるとあまり上がらなくなり, 100% に近いところで再び上がった。最低気温は秋~春季では照度が増すに従いわずかに下がった。しかし, 夏季では相対照度に関係なくほぼ一定の値をとった。

ヒノキの閉鎖林分について若齢林分と壮齢林分とを比べたが, 違いは認められなかった。また, 壮齢

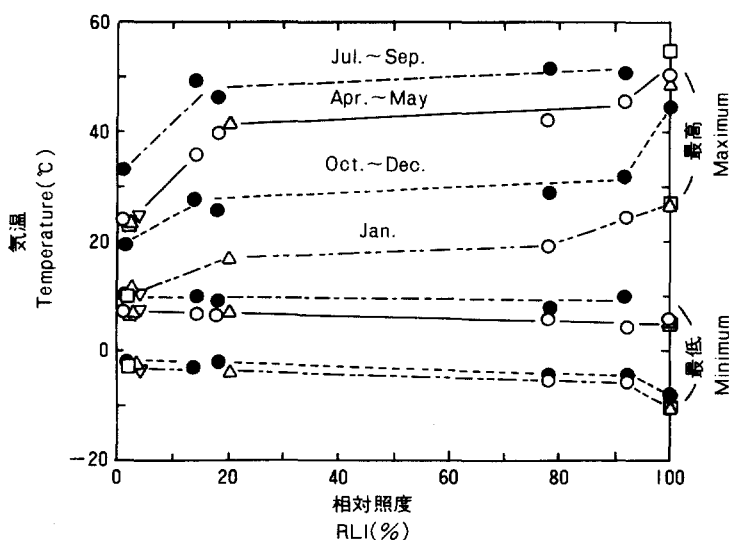


Fig. 7. 相対照度の異なる林床における最高・最低気温の季節変化

Seasonal changes in maximum or minimum temp. on the forest floor at different relative light intensity.

- : 27年生ヒノキ林
27-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand
- △: 同 76年生
76-year-old *C. obtusa* stand
- ▽: 同 76年生 (下層植物群落を除いた)
76-year-old *C. obtusa* stand (understories were removed)
- : 5年生スギ林
5-year-old *Cryptomeria japonica* stand

林分で十分発達した下層植物群落を取り除く処理区を設け無処理区と比べたが違いはなかった。

2.2 下層植物群落の植被率と高さ

材料と方法

下層植物群落の植被率及び高さの挙動を明らかにするため、1979～1984年の間で8、9月の時期を選び、38林分（Table 1）のそれぞれに10 m×10 mの方形区を設けた。そして、下層植物群落を低木層と草本層とに分け、各層の植被率及び高さを測った（清野、1988 b）。

低木層の挙動をより詳しく調べるため、約70年生で乾湿条件の異なる3林分（Nos. 16, 18, 19）を選び、約5 m×10 mの方形区を設けた。そして、低木層個体に印をつけて1～3年間追跡し、幹の地際断面積合計（BA）の新生量及び枯死量を求めた。

次に、林地のリターや土の流亡に及ぼす下層植物群落の植被率の影響を明らかにするため、流亡とかわりの深いA₀層の被覆状態の動態について次の調査解析を行った（清野、1988 a）。

まず、落葉量の季節変化を明らかにするため、中性立地の30年生林分（No. 15）と70年生林分（No. 17）を選び、林冠（ヒノキ）と低木層について毎月の落葉量をリタートラップ法で調べた。すなわち、受け口が方形で1辺0.5 m（面積0.25 m²）のトラップを1林分12個ずつおき、1か月に1度トラップの中身を集めて落葉を分け、85℃で2日間乾かしてから絶乾重を求めた。調査は30年生林分ではヒノキについて4年間（1982～1985年）、70年生林分ではヒノキについて3年間（1979～1981年）、低木層について1年間（1981年）行った。

ついで、A₀層の被覆状態の季節変化を明らかにするため、中性立地の20年生林分（No. 27）と68年生林分（No. 24）で傾斜角30度の斜面を選び、それぞれ5か所の測定点を設けておよそ2年間（1984～1985年）にわたり適時A₀層被覆率（後述）を調べた。

また、A₀層の被覆状態に及ぼす乾湿条件や下層植物群落の影響を明らかにするため、Table 1中の32林分でそれぞれ2～4か所計92か所の測定点を選び、A₀層被覆率と下層植物群落の種組成、斜面傾斜角度、低木層植被率、草本層植被率を調べた。後述するとおり、A₀層被覆率の季節変化が著しいので、9月（1982, 1983, 1985年）に限って調べた。

乾湿条件に沿った測定点の相対的位置をより明らかにするため、下層植物群落の種組成の調査結果を基に連続体分析（伊藤、1977）を行いスタンド指数を求めた。すなわち、B_B～B_D(d)あるいはBl_D(d)型の土に主に出現する種に5、より湿性なB_DあるいはBl_D型の土にも出現するが、前者で特に多い種に4、B_DあるいはBl_D型の土の広い範囲に出現する種に2、中でも最も湿った範囲に出現する種に1、一定の傾向を示さない種に3の種位置指数を与え、各測定点の種組成に応じて種位置指数の加重平均値： $\sum A_i \cdot R_i / \sum A_i$ を求めた。ただし、Aは被度、Rは種位置指数、_iは種の違いを表す。

A₀層被覆率はA₀層の被覆状態を量的に表す尺度によって、次の方法で求めた。すなわち、A₀層の被覆状態を観察し、林地面積から植物体の地際断面積を除いた面積に対する、A₀層の被覆（鉱質土壌が露出していない状態）面積の割合（%）を求め、A₀層被覆率とした。目測の際、視線は斜面の垂線上にあるようにした。1回に目測する林地の広さは1 m×1 mとし、2～4回繰り返して求めた値の平均を、一測定点の値とした。

2.2.1 低木層の植被率と高さ

どの立地区分でも無処理（無間伐）林分の低木層は、40 年生未満の林分ではほとんど発達しておらず、40 年生以上の林分で発達していた (Figs. 8, 9)。

26 年生時に間伐（材積率 8%）された 34 年生林分では、低木層がほとんど発達していなかった (Figs. 8, 9)。しかし、40 年生ごろに間伐（同 6~20% 程度）された林分では、どの立地区分でも無処理林分より低木層が発達していた (Figs. 8, 9)。

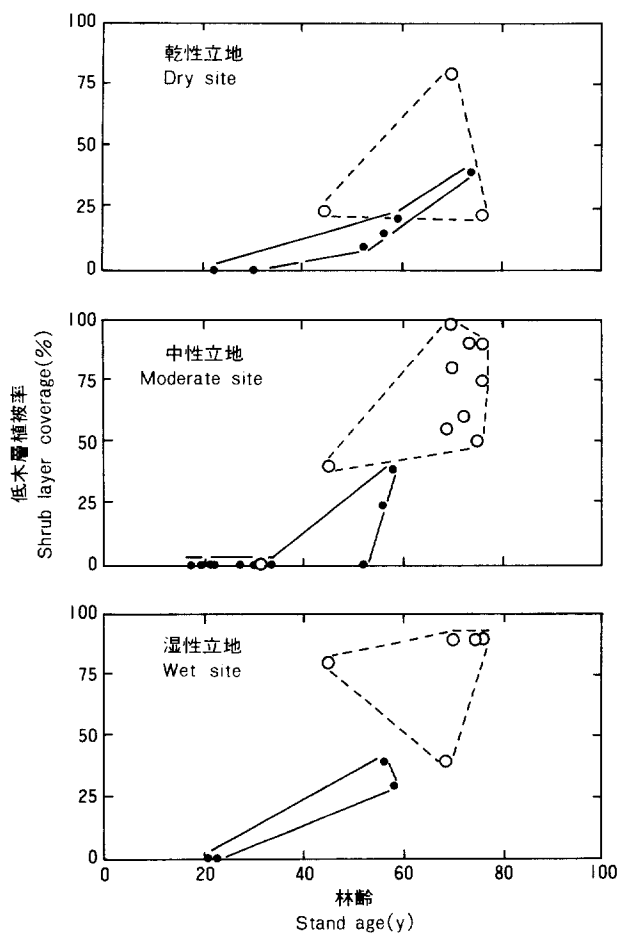


Fig. 8. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と低木層植被率の関係（清野, 1988 b を改変）

Shrub layer coverage in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 b revised).

●: 無処理林分 Control ○: 間伐林分 Thinned stand

実線は無処理林分における値の範囲、破線は間伐林分のうち 40 年生のころに間伐されたものの値の範囲を示す。

Thick line: the range of control stands. Broken line: the range of thinned stands. The thinning was practiced when the stand age was about 40-year-old.

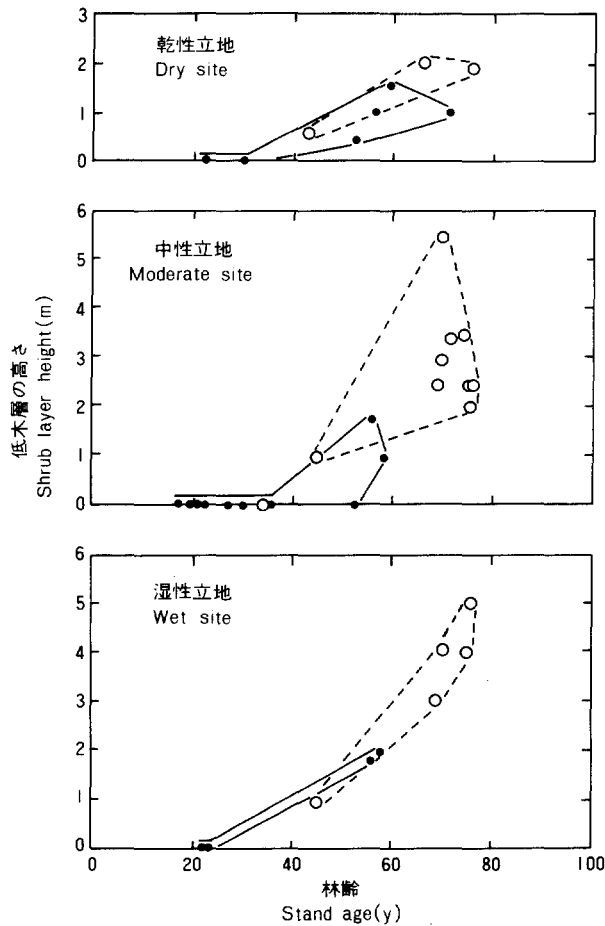


Fig. 9. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と低木層の高さの関係
Shrub layer height in relation to site class, a history of thinning and stand age in
Chamaecyparis obtusa plantations.

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

ただし、間伐林分の植被率の増え方は比較的緩やかで、間伐林分と無処理林分の植被率の違いは林齢が増すに従い小さくなった。乾性立地の 70 年生ごろの林分の植被率には、間伐履歴の影響が認められない。また、他立地でも間伐林分と無処理林分の植被率の増加傾向を見ると、70 年生ごろには違いがなくなりそうである。

低木層の発達に対する乾湿条件の影響は、40 年生以上の林分で明らかで、湿性な立地ほど植被率や高さが高かった (Figs. 8, 9)。

約 70 年生で乾湿条件の異なる 3 林分 (Table 5) で BA の経年変化を求めたところ、落葉広葉樹が衰え、常緑広葉樹が増える傾向にあった。両者を合わせた BA の経年変化は小さかった。期首の BA と植被率との関係が変わらないと仮定すると、植被率は変わらないかやや減る傾向にある。この結果か

Table 5. ヒノキ人工林における低木層の BA, 植被率の変化率
 Changing rate in BA and coverage of shrub layer in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	種ないし生活型の似た種群 Species or group having the similar life form	BA				BA 変化率 Changing rate in BA (%/y)	植被率変化率 Changing rate in coverage (%/y)
		期首 At the beginning (m ² /ha)	枯死 Dead (m ² /ha · y)	新生 Increment (m ² /ha · y)	期末 At the end (m ² /ha)		
18	落葉広葉樹 Deciduous broad-leaved	1.26	0.19	0.01	0.73	-16.6	—
	<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	0.51	0	0.02	0.57	3.9	—
	<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	0.29	+	0.03	0.38	10.3	—
	<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	0.94	+	0.07	1.16	7.2	—
	合計 Total	3.00	0	0.19	0.14	-1.7	-4.4
16	落葉広葉樹 Deciduous broad-leaved	1.42	0.24	+	0.67	-21.9	—
	<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	6.08	+	0.24	6.82	3.9	—
	<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	0.50	0	0.02	0.58	5.2	—
	<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	0.07	0.02	+	+	-57.8	—
	合計 Total	8.07	0.26	0.26	8.07	+	-2.2
19	落葉広葉樹 Deciduous broad-leaved	1.41	0.09	0.02	1.20	-5.2	—
	<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	3.70	+	0.09	3.96	2.3	—
	<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	2.74	0.01	0.06	2.90	1.9	—
	<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	0.73	+	+	0.73	+	—
	合計 Total	8.57	0.10	0.17	8.78	0.8	0.6

BA: 幹の地際断面積合計。Basal area.

ら見る限り, 70 年生林分の低木層植被率は上限に近い状態にある。

2.2.2 草本層の植被率と高さ

どの立地区分でも無処理林分の草本層は, 40 年生未満の林分ではあまり発達しておらず, 40 年生以上の林分で発達していた (Fig. 10)。

草本層植被率 (C_h) は低木層植被率 (C_s) に対して凸な曲線で表わされる関係にあり最大値を持った (Fig. 11)。両者の関係は下式で近似された。

$$1/C_h = 1/A_c C_s + 1/(100 - B_c C_s) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし, A_c , B_c は最小自乗法で求めた常数で, それぞれ乾性立地で 3.8, 1.0 ($r^2 = 0.18$), 中性立

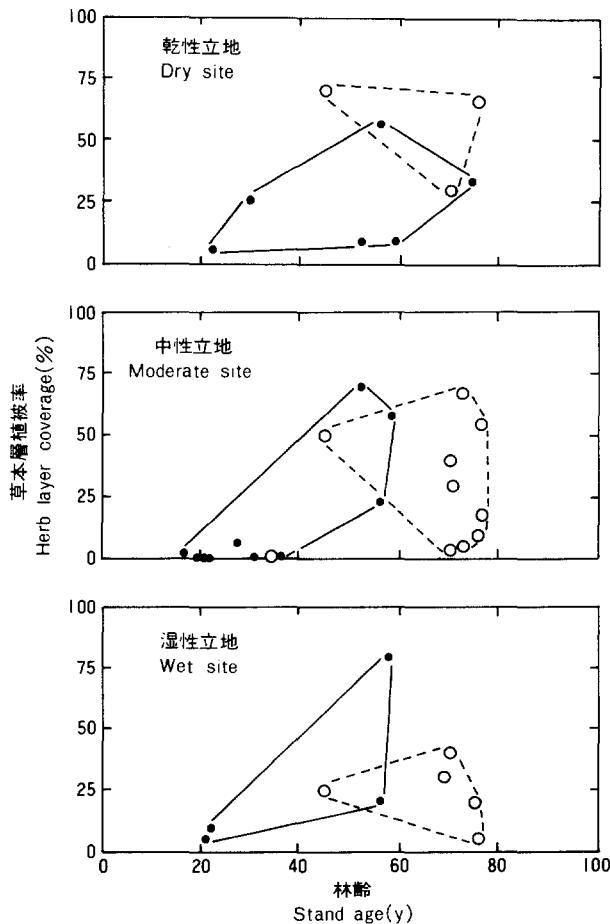


Fig. 10. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と草本層植被率の関係 (清野, 1988 b を改変)

Herb layer coverage in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations (Kiyono, 1988 b revised).

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

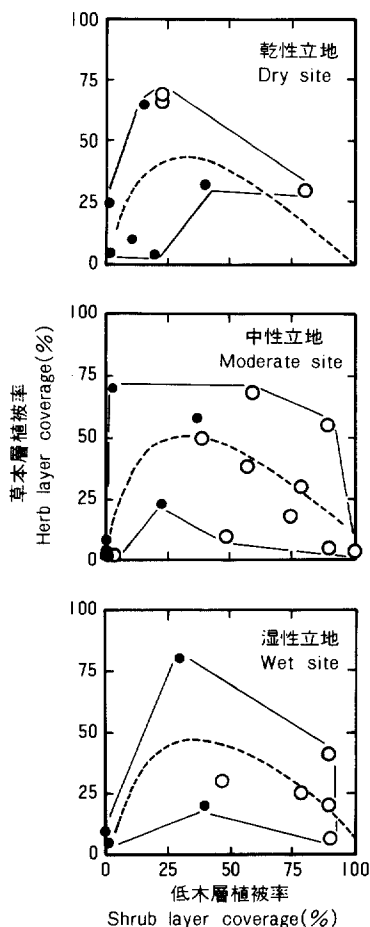


Fig. 11. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の低木層植被率と草本層植被率の関係

Relationship between shrub layer coverage and herb layer coverage in relation to site class, a history of thinning in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号は Fig. 8 と同じ。実線は値の範囲、破線は (1) 式による回帰線を示す。

Symbols are same as Fig. 8. Line shows the range of stands. Broken line is drawn by equation (1).

地で 5.8, 0.9 ($r^2 = 0.25^*$), 湿性立地で 4.3, 0.9 ($r^2 = 0.36$)。

(1) 式によれば草本層植被率は低木層植被率が 30~35% のときにその最大値 44~51% をとる。

草本層の高さは湿性な立地ほど大きかった。これには草本層の構成種、特に草本植物の種の違い (Table 2) が関わっていた。

2.2.3 下層植物群落の植被率と A_0 層被覆率

(1) 降水と落葉の季節変化

近くの気象観測点 [柿岡], [真壁] (日本気象協会, 1984; 1985) では, 12 月から翌年 1~2 月までの降水量が少ないほかは, ある程度の頻度と強度の降水がある。冬季は降雪となることが多い。年平均降水量は約 1200 mm である。

ヒノキの落葉量は 30 年生林分では 10 月から翌年 2 月にかけて, 70 年生林分では 10 月から翌年 1 月にかけて多く, また, 低木層の落葉量は 5 月から 8 月にかけてと, 11 月から 12 月にかけて多かった (Fig. 12)。

ヒノキの年落葉量は 30 年生林分で 4.4~3.2 t/ha, 平均 3.9 t/ha, 70 年生林分で 3.6~1.9 t/ha, 平均 2.9 t/ha であった。また, 低木層の年落葉量は 0.27 t/ha であり, ヒノキの 1 割に満たなかった。

林地に供給される落葉には, このほかに草本層のものがあるが, 55~73 年生 9 林分で低木層及び草本層の葉量を調べた結果 (Table 7, 後述) によれば低木層は 0.11~2.51 t/ha, 平均 0.78 t/ha であるのに, 草本層は 0.01~0.54 t/ha, 平均 0.10 t/ha しかなく, 草本層の落葉量は低木層のそれよりも少ないと考えられる。

ヒノキの年落葉量を他のヒノキ林での値 3.5 ± 1.9 (平均値と標準偏差) t/ha (齊藤(秀), 1974) と比べると, 30 年生林分は平均値よりやや多く, 70 年生林分はやや少なかったが, いずれも標準偏差の範囲内の値であった。低木層の年落葉量については比べられる資料がなかった。

(2) A_0 層被覆率の季節変化

1984 年の結果 (Fig. 13) について見ると, A_0 層被覆率は 20 年生林分, 68 年生林分ともに, 2~3

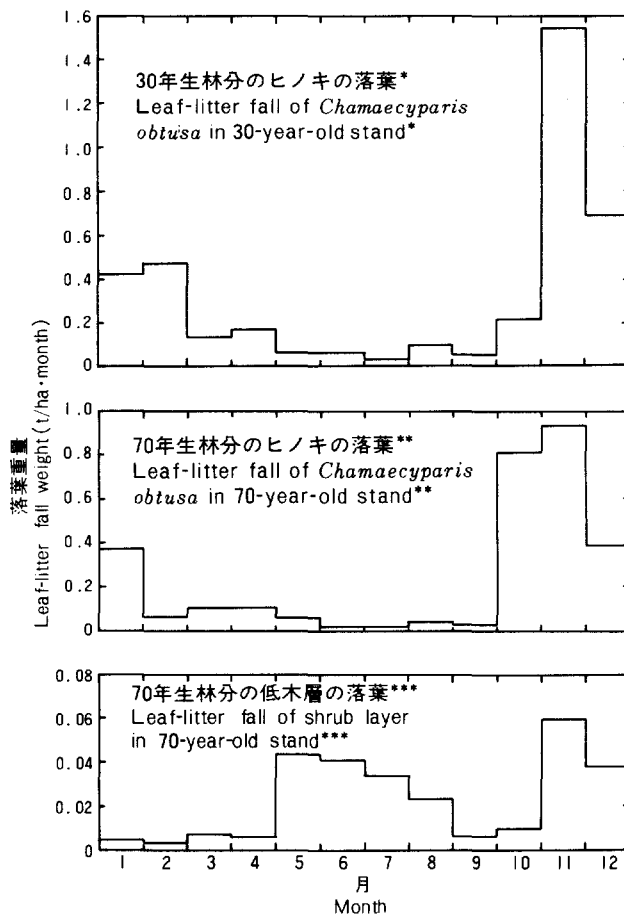


Fig. 12. ヒノキ人工林における落葉量の季節変化 (清野, 1988 a)

Seasonal changes in leaf-litter fall in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 a).

* 1982~1985 年の平均値 Mean value of 1982 ~ 1985

** 1979~1981 年の平均値 Mean value of 1979 ~ 1981

*** 1981 年 1981

月は 100% であったが、4~5 月以降、9 月はじめごろまで減り続けた。そして秋から冬に向かっては増え、12 月には 100% に達した。また、1985 年 (Fig. 13) は、春、 A_0 層被覆率の減りは始める時期が 1~2 か月早まり、春から夏にかけての減少傾向がやや異なったものの、年間を通じた傾向は 1984 年とよく似ていた。

年変動があり測定間隔が不定であるため、おおよその傾向をとらえ得たに過ぎないが、 A_0 層被覆率は冬季に高く、春から夏に向かって減り、夏季に低く、秋から冬に向かって増えるという傾向が認められる。

このことには前述した降水の形態 (雪となるか雨となるか) や落葉量の季節変化が深くかかわってい

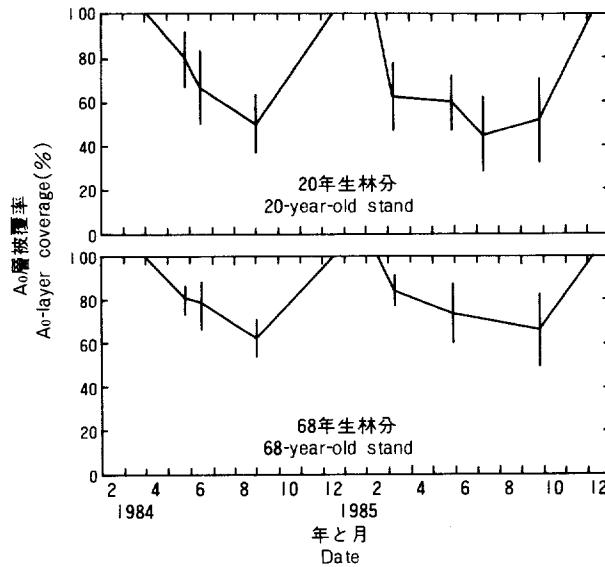


Fig. 13. ヒノキ人工林における A₀ 層被覆率の季節変化 (清野, 1988 a)

Seasonal changes in A₀-layer coverage in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 a).

折れ線は平均値、縦の実線は標準偏差を示す。

Creasing lines and vertical lines show the mean and the range of standard deviation respectively.

よう。12月から翌年2月ないし3月にかけては降水がしばしば降雪となり、長期間溶けずに残っているのでリターは動きにくいと考えられる。一方、落葉は比較的盛んであるので A₀ 層被覆率はほぼ 100% に保たれる。春から夏にかけては地面に水の流れた跡がしばしば見られるので降雨時にリターが動いていると考えられる。一方、落葉は少ないので A₀ 層被覆率は減る。そして、10月から12月にかけては一年のうちで最も多く落葉が供給されるので A₀ 層被覆率は増える。

なお、今後 A₀ 層被覆率とリターや土の流亡量を同時に測るなどして、A₀ 層被覆率の指標性を確かめる必要がある。また、A₀ 層被覆率にはリターの分解や A 層への混入 (片桐, 1982) もかかわっている、それらの影響についても明らかにする必要がある。

(3) A₀ 層被覆率の要因解析

32 林分 92 か所の測定値を基に、A₀ 層被覆率に対する地形や下層植物群落の影響を解析した。

まず、スタンド指数と斜面傾斜角度、低木層植被率及び草本層植被率の各要因について、9月の A₀ 層被覆率 (以下は、A₀ 層被覆率と略称) への寄与率を求めたところ (Table 6), スタンド指数の寄与率は 1% に満たなかった。乾湿条件が A₀ 層被覆率に及ぼす影響はごく小さい。そこで、スタンド指数を除く 3 要因による重回帰分析を行い、要因の部分集合について寄与率を求めたところ (Table 6), A₀ 層被覆率に最も影響を及ぼすものは斜面傾斜角度であり、草本層植被率はそれに次ぎ、低木層植被率の影響は小さいことが分かった。

そこで、斜面傾斜角度及び草本層植被率と A₀ 層被覆率との関係を詳しく検討したところ (Fig. 14),

Table 6. ヒノキ人工林の A₀ 層被覆率に対する要因の寄与率
(清野, 1988 a).

Contribution ratio of factors for A₀-layer coverage in
Chamaecyparis obtusa plantations (KIYONO, 1988 a).

要因 Factor	寄与率 Contribution ratio (%)
[×1] スタンド指数 Stand index	0.8
[×2] 斜面傾斜角度 Gradient of slope (°)	61.8
[×3] 低木層被覆率 Shrub layer coverage (%)	4.1
[×4] 草本層被覆率 Herb layer coverage (%)	11.6
[×2+×3]	63.4
[×2+×4]	68.8
[×3+×4]	15.3
[×2+×3+×4]	70.2

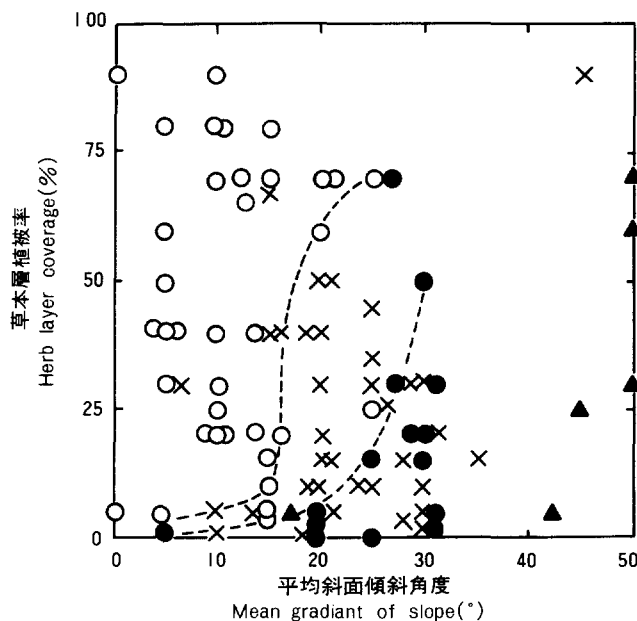


Fig. 14. ヒノキ人工林における平均斜面傾斜角度と草本層被覆率及び A₀ 層被覆率の関係
(清野, 1988 a)

A₀-layer coverage in relation to mean gradient of slope and herb layer coverage
in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 a).

A₀ 層被覆率 A₀-layer coverage

○ : 100~75% × : 74~50% ● : 49~25% ▲ : 24~0%

A₀層被覆率は、傾斜角がおよそ15度以下の緩斜面では草本層植被率が0%に近い場合を除いて草本層植被率にはほぼ無関係に高く、同40度以上の急斜面では草本層植被率にはほぼ無関係に低く、同15~30度の斜面でのみ草本層植被率が大きいほど高かった。また、傾斜角が15度以下の緩斜面でも草本層植被率が0%に近いところではやや低い傾向があった。

以上、A₀層被覆率に最も影響するものは斜面傾斜角度である。草本層植被率はそれにつき、特に傾斜が15~30度の範囲では影響が明らかであった。一方、低木層植被率の影響は小さく、乾湿条件はほとんど無関係であった。

草本層の影響が低木層のそれよりも大きかったのは、葉層が低い位置にあり、また、同じ植被率であれば地上茎の数が多いので、リターや土の移動の原因となる雨滴の勢をやわらげたり、移動を直接妨げるなどの働きが大きいためであろう。従って、ヒノキ林を育てる際には、林冠を疎開するなどして林内を明るくし、草本層が失われないようにすることが望ましい。また、低木層植被率はA₀層被覆率に直接の影響は及ぼさないものの、低木層が十分発達すると草本層は衰える（Fig. 11）ので、低木層の過度の発達は好ましくない。

2.3 下層植物群落の葉量と葉の生産量

材料と方法

下層植物群落の葉量及び葉の生産量の挙動を明らかにするため、1979~1984年の間で9、10月の時期を選び、立地区分や林齢が異なり、かつ林冠葉量が求められた（Fig. 3）12林分（Nos. 4, 5, 11, 15~20, 34, 37, 38）のそれぞれに10m×10mの方形区を設けた。そして、区内の下層植物群落を低木層と草本層とに分け、各層の葉量と葉の生産量を求めた。

低木層の量の比較的少ない林分（Nos. 16, 19を除く10林分）では区内の低木層の全個体について葉量と当年生葉量を測った。低木層の量の多い林分（Nos. 16, 19）では区内の低木層個体の種名と幹の地際直径を毎木調査した後、種ないし生活型の似た種群（例えば落葉広葉樹）ごとに幹の直径の頻度分布に合わせて10数個体、合計39ないし51個体のサンプル木を選んでその葉量と当年生葉量を測り、サンプル木と区内の全個体の幹の地際断面積合計の比を使って区当たりの量に直した。

草本層については区内に1m×1mの小区を4区ずつ設け、小区内の全個体の葉量と当年生葉量を測った。

当年生葉量を葉の生産量と見なした。葉量及び葉の生産量は単位土地面積当たりの量に直した。重量は85℃で十分に乾かした後の絶乾重に直した。

なお、調べた9、10月は下層の落葉広葉樹の主要な落葉期の直前に当たる。それ以前に落ちた葉量は大半の林分で調べることができなかった。試みに約70年生の林分（Nos. 17, 18）で下層の落葉広葉樹の落葉量の季節変化を1年間調べたところ、新葉が開く4月から本格的な落葉のはじまる直前の10月までに落ちた葉の葉面積は、4月から1年間に落ちた葉の葉面積のそれぞれ0.9、3.2%を占めた（清野、未発表）。従って、その分だけ葉の生産量を過小推定することになる。

低木層を優占する常緑広葉樹4種（アオキ、シロダモ、シラカシ、ヒサカキ）の葉の平均寿命を明らかにするため、1979年10月に70年生林分（No. 17）で低木層の比較的大きな個体（幹の地際直径0.6

cm 以上）と小さな個体（同 0.6 cm 未満）及び林縁の比較的大きな個体（同 0.6 cm 以上）を種ごとに 1～2 個体選び、葉齢別に葉面積を求めた。

2.3.1 下層植物群落の葉量

12 林分の下層植物群落の葉量（以下は下層葉量と略称する）は重量で +2.52 t/ha、面積で +2.73 ha/ha の範囲内にあった（Tables 7, 8）。ヒノキ林全体の葉量に占める割合は重量で +20.3%、面積で +46.1% の範囲内にあった。

下層葉量が特に多かったのは 40 年生時に最強度の間伐（材積率 20%）を受けた中性立地の 70 年生林分（No. 16）と、42～47 年生時に中庸の間伐（同 9%）を受けた湿性立地の 73 年生林分（No. 19）である。両林分の下層葉量は壮齡林分になって減ったヒノキの林冠葉量（平均 2.7 t/ha）に匹敵する。従って、壮齡林分も下層植物群落が十分発達すれば、若齡林分と同程度の葉量を持ち得る。ただ乾性立地の林分にはこうした例はなく、その下層葉量はほかの立地よりはるかに少なかった。

低木層、草本層各層の植被率あるいは植被率×高さと同層の葉重あるいは葉面積との関係は下式で表せた。どの式にも立地区分の違いによる傾向の分離は認められなかった。

低木層：

$$LW_s = 0.00363 C_s^{1.33} \quad (r^2 = 0.75^{**}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$LW_s = 0.0226 (C_s H_s)^{0.708} \quad (r^2 = 0.73^{**}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$LA_s = 0.00683 C_s^{1.26} \quad (r^2 = 0.71^{**}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$LA_s = 0.0515 (C_s H_s)^{0.617} \quad (r^2 = 0.73^{**}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

Table 7. ヒノキ人工林の葉重量

Leaf weight in canopy of *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	林冠 Canopy (t/ha)	下層植物群落 Understories			林分全体 Stand total (t/ha)	下層の葉の占める割合 Ratio of leaf weight of understories to that of stand (%)
		低木層 Shrub layer (t/ha)	草本層 Herb layer (t/ha)	合計 Total (t/ha)		
4	10.56	0.13	0.02	0.15	10.71	1.4
5	10.87	0.11	0.01	0.12	10.99	1.1
11	12.81	+	+	+	12.81	+
15	12.74	0.01	+	0.02	12.76	0.1
16	9.86	2.51	0.01	2.52	12.38	20.3
17	9.97	0.51	0.05	0.56	10.36	5.3
18	9.52	0.39	0.02	0.41	9.80	4.1
19	10.74	1.72	0.02	1.74	12.48	13.9
20	10.10	0.40	0.05	0.45	10.55	4.3
34	12.91	+	+	+	12.91	0.5
37	9.42	0.57	0.54	1.11	10.53	10.6
38	9.42	0.65	0.15	0.81	10.23	7.9

Table 8. ヒノキ人工林の葉面積

Leaf area in canopy of *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	林冠 Canopy (ha/ha)	下層植物群落 Understories			林分全体 Stand total (ha/ha)	下層の葉の占める割合 Ratio of leaf weight of understories to that of stand (%)
		低木層 Shrub layer (ha/ha)	草本層 Herb layer (ha/ha)	合計 Total (ha/ha)		
4	3.47	0.22	0.04	0.26	3.73	7.0
5	3.60	0.22	0.04	0.23	3.86	6.6
11	4.62	+	+	+	4.62	+
15	4.21	0.03	0.01	0.04	4.25	0.9
16	3.19	2.72	0.01	2.73	5.92	46.1
17	3.23	0.86	0.19	1.05	4.28	24.6
18	3.09	0.59	0.10	0.69	3.78	18.3
19	3.49	2.38	0.05	2.43	5.92	41.1
20	3.28	0.56	0.14	0.70	3.98	17.6
34	4.27	0.01	+	0.01	4.28	0.2
37	3.05	0.91	0.82	1.73	4.78	36.2
38	3.05	1.07	0.35	1.42	4.47	31.7

草本層：

$$LW_h = 0.00444 C_h^{0.658} \quad (r^2 = 0.32^*) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$LW_h = 0.0137 (C_h H_h)^{0.681} \quad (r^2 = 0.38^*) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$LA_h = 0.00716 C_h^{0.792} \quad (r^2 = 0.46^*) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$LA_h = 0.0515 (C_h H_h)^{0.686} \quad (r^2 = 0.56^{**}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ただし、 LW_s は低木層葉重 (t/ha)、 LA_s は同葉面積 (ha/ha)、 C_s は同植被率 (%), H_s は同高さ (m)、 LW_h は草本層葉重 (t/ha)、 LA_h は同葉面積 (ha/ha)、 C_h は同植被率 (%), H_h は同高さ (m) をそれぞれ示す。

Fig. 8 と (2), (4), (6), (8) 式とから立地区別に林齢と LW_s , LA_s , LW_h 及び LA_h それぞれとの関係を推定した (Figs. 15~18)。40 年生以上の無処理林分の LW_s や LA_s は乾性立地で少ない。間伐林分の LW_h や LA_h は立地が乾性なほど多い。

2.3.2 下層植物群落の葉の生産量

(1) 下層植物群落の葉の生産量

12 林分の下層植物群落の葉の生産量は +~0.78 t/ha・y の範囲内にあった (Table 9)。また、林冠の葉の生産量を求めた 4 林分 (Nos. 11, 15, 17, 19) について、下層植物群落の葉の生産量がヒノキ林全体のそれに占める割合を求めたところ +~14.7% の範囲内にあった。

低木層、草本層各層の葉の生産量はその層の葉重と深いかかわりがあり、下式で近似することができた。立地区分の違いによる傾向の分離は認められなかった。

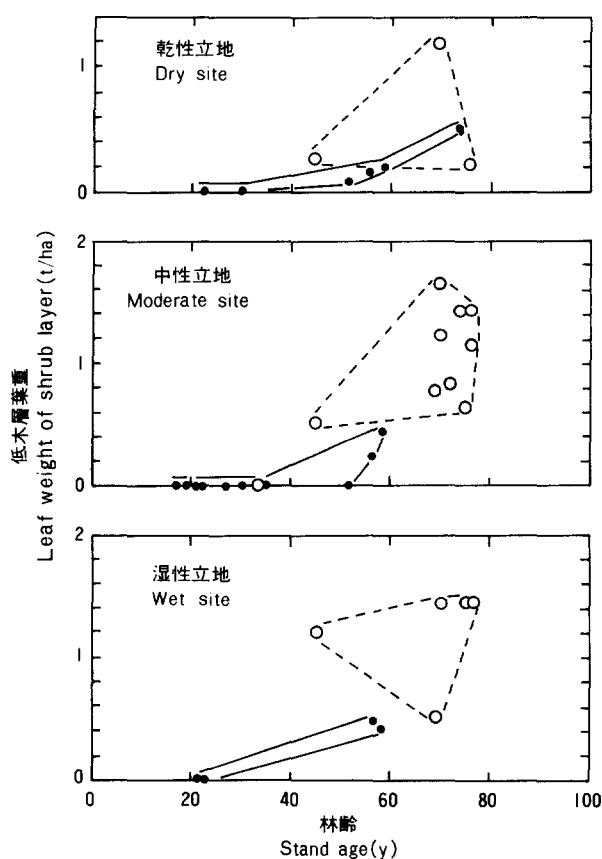


Fig. 15. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と低木層葉重の関係
Leaf weight of shrub layer in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

低木層：

$$1/LWI_s = 1.34/LW_s + 1.56 \quad (r^2 = 0.99^{**}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

草本層：

$$LWI_h = 1.05 LW_h^{1.08} \quad (r^2 = 0.97^{**}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

ただし、 LWI_s は低木層の葉の生産量 ($t/ha \cdot y$)、 LWI_h は草本層の葉の生産量 ($t/ha \cdot y$) を示す。

LWI_s は LW_s の増加に対し飽和曲線で表される関係にあった。これには次の三つの理由が考えられる。第一に LW_s の増えた状態、すなわち、低木層の発達した状態では、落葉広葉樹が衰え、葉の寿命の長い常緑広葉樹が増える傾向がある (Table 5)。第二に常緑広葉樹で優占種となるアオキ、シロダモ、シラカシ、ヒサカキのうちヒサカキ以外は、個体が大きくなるに従い葉の平均寿命が長くなる

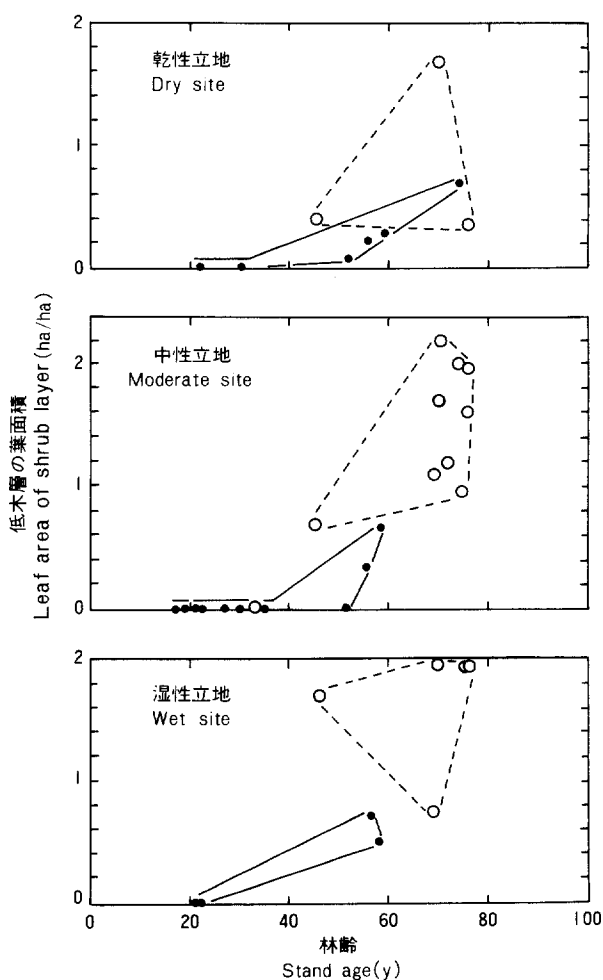


Fig. 16. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と低木層葉面積の関係
Leaf area of shrub layer in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.
符号及び各線は Fig. 8 と同じ。
Symbols and lines are same as Fig. 8.

(Table 10)。第三に樹高が高くなり低木層を最終的に優占するシロダモ、シラカシは、アオキ、ヒサカキよりも葉の平均寿命が長い (Table 10)。

LWI_h は LW_h の大部分を占めていた。常緑植物は少なくなかった (草本層葉重に占める割合は 14 ~ 84% の範囲内にあった) が、調査時点 (9, 10 月) の葉の大半は当年葉によって占められていた。出現頻度の高い常緑種 (Table 11) のうちトウゲシバ以外は葉の寿命が 1 ~ 2 年しかない。KAWANO

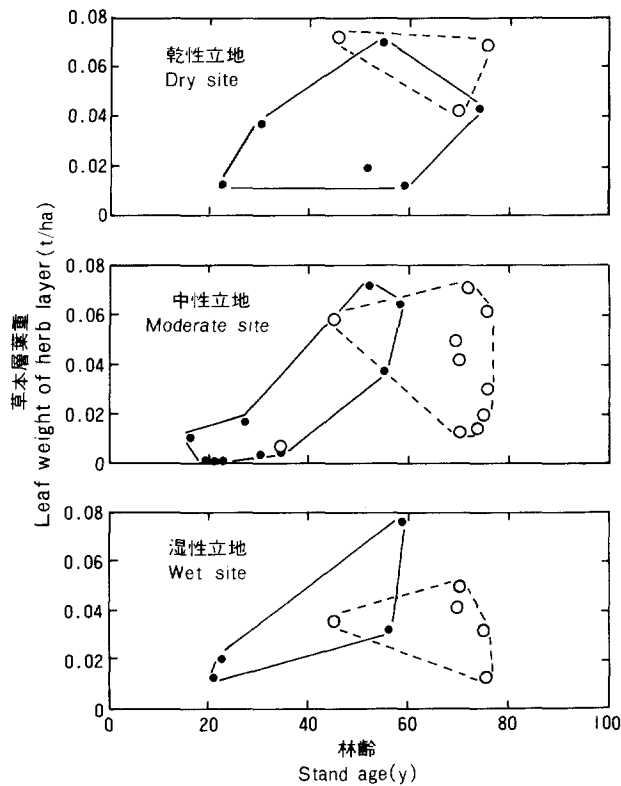


Fig. 17. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と草本層葉重の関係
Leaf weight of herb layer in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

et al. (1983) は林床の温帯性常緑植物を地上器官の寿命が3年以上の常緑Ⅰ型と2年未満の常緑Ⅱ型とに区分している。それによると Table 11 中のトウゲシバは常緑Ⅰ型、他種は常緑Ⅱ型にそれぞれ含まれる。

Fig. 8 と (1), (2), (6), (10), (11) 式とから立地区別別に林齢と LWI_s , LWI_h それぞれとの関係を推定した (Figs. 19, 20)。40 年生以上の無処理林分の LWI_s は乾性立地で少ない。間伐林分の LWI_h は立地が乾性なほど多い。

(2) 下層植物群落の葉の回転率

(10) 式の両辺に LW_s をかけると、

$$LW_s / LWI_s = 1.34 + 1.56 LW_s \quad \dots\dots\dots (12)$$

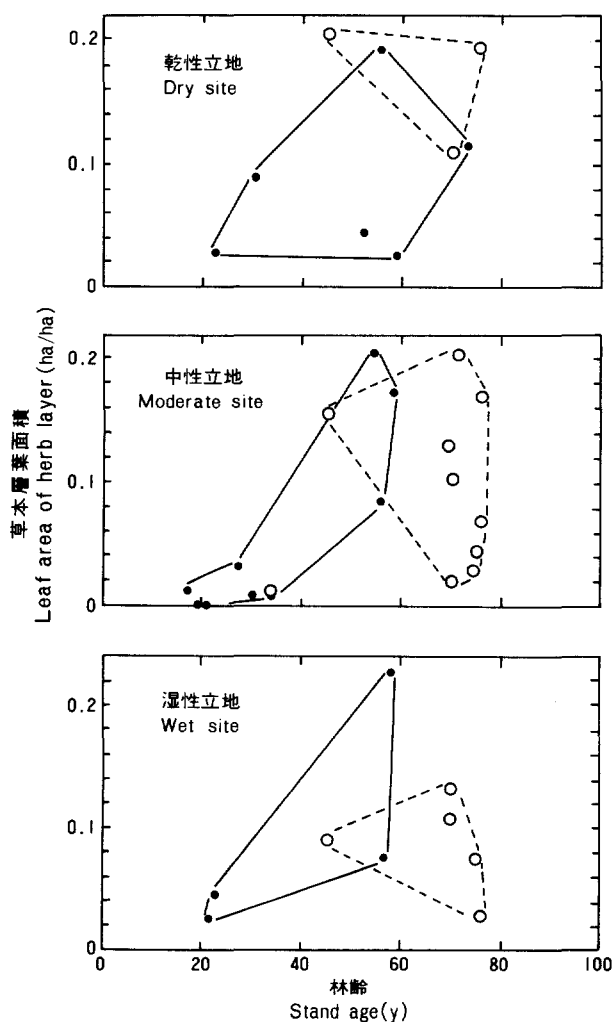


Fig. 18. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と草本層葉面積の関係
Leaf area of herb layer in relation to site class, a history of thinning and stand
age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

葉の生産量と枯死量とが等しいと仮定すると、左辺は低木層葉重の年平均回転率の逆数である。例えば70年生林分の LW_h の年平均回転率は乾性立地で 0.47/y, 中性立地で 0.33/y, 湿性立地で 0.30/y であり、乾性立地の回転率が特に大きい。

また、(11) 式を変形すると、

$$LWI_h/LW_h = 1.05 LW_h^{0.08} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Table 9. ヒノキ人工林の葉の生産量

Leaf production in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	林冠 Canopy (t/ha・y)	下層植物群落 Understories			林分全体 Stand total (t/ha・y)	下層の葉の占める割合 Ratio of leaf weight of understories to that of stand (%)
		低木層 Shrub layer (t/ha・y)	草本層 Herb layer (t/ha・y)	合計 Total (t/ha・y)		
4	—	0.09	0.01	0.09	—	—
5	—	0.07	0.01	0.08	—	—
11	5.50	+	+	+	5.50	+
15	4.40	0.01	+	0.02	4.42	0.5
16	—	0.41	+	0.41	—	—
17	2.61	0.27	0.05	0.32	2.93	10.9
18	—	0.18	0.02	0.19	—	—
19	2.90	0.48	0.02	0.50	3.40	14.7
20	—	0.20	0.04	0.24	—	—
34	—	+	+	+	—	—
37	—	0.25	0.53	0.78	—	—
38	—	0.29	0.13	0.42	—	—

低木層と同様に左辺を草本層葉重の年平均回転率と見なすと、例えば70年生林分の LW_h の年平均回転率は乾性立地で $0.83/y$ 、中性立地で $0.82/y$ 、湿性立地で $0.81/y$ であり、立地間でほとんど違いがない。

2.4 下層植物群落の現存量と純生産量

材料と方法

下層植物群落の現存量及び純生産量の挙動を明らかにするため、1979年9、10月に乾性立地の70年生林分(No. 18)と中性立地の70年生林分(No. 17)のそれぞれに $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ の方形区を設けた。そして、区内の下層植物群落を低木層と草本層とに分け、各層の現存量及び純生産量を求めた。

[低木層] 区内の全個体を掘り採り、葉量と当年生葉量、幹+枝量、根量を測った。幹及び枝はそれぞれ樹幹解析、枝解析をして当年成長量を求めた。根の成長量は T/R 率を一定と仮定して求めた。なお、古い幹が枯れ、萌芽によって生じたごく若い幹を持つ個体(Seedling coppice、実生の萌芽)の根株量を分けた。Seedling coppice の根株の成長量は測定が難しく求められなかったが、ごくわずかなものであろう。

[草本層] 区内に $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の小区を4区ずつ設け、小区内の全個体を掘り採り、葉量と当年生葉量、地上非同化器官(幹+枝)量、根量を測った。木本植物の地上非同化器官については樹幹解析及び枝解析をして当年成長量を求めた。それに草本植物の地上非同化器官量を加えたものを地上非同化器官の生産量とした。根の生産量は無視した。

重量は 85°C で十分に乾かした後の絶乾重に直し、単位土地面積当たりの量に直した。

Table 10. 常緑広葉樹4種の葉の寿命

Leaf life span of four species of evergreen broad-leaved tree.

種 Species	生育地 Habitat	幹の地際直径 Stem diameter at base (cm)	各齡の葉面積が全体に占める割合 Ratio of leaf area in each age class to that in total (%)								平均寿命* Mean leaf life span (y)
			齡 Age (y)								
			1	2	3	4	5	6	7	8~	
<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	低木層 Shrub layer	>0.6	40	27	24	8	+				2.5
	低木層 Shrub layer	<0.6	51	27	17	4					2.0
	林外裸地 Open	>0.6	83	16	+						1.2
<i>Neolitsea sericea</i> (シロダモ)	低木層 Shrub layer	>0.6	21	19	19	12	9	9	7	3	4.8
	低木層 Shrub layer	<0.6	37	21	16	11	7	5	1	1	2.7
	林外裸地 Open	>0.6	40	28	21	10	2				2.5
<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	低木層 Shrub layer	>0.6	28	22	23	17	8	3			3.6
	低木層 Shrub layer	<0.6	36	22	18	11	5	8			2.8
	林外裸地 Open	>0.6	64	30	4	1					1.6
<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	低木層 Shrub layer	>0.6	46	31	14	7	3				2.2
	低木層 Shrub layer	<0.6	41	39	14	5	1				2.4
	林外裸地 Open	>0.6	100								1.0

* 当年の葉面積が全体に占める割合の逆数。Ratio of leaf area to current leaf area.

Table 11. 常緑性草本植物の当年葉の割合

Ratio of current leaf weight to that of total in evergreen herbaceous species.

種 Species	出現頻度* Frequency (%)	当年葉の割合 Ratio of current leaf weight to that of total (%)
<i>Ophiopogon japonicus</i> (ジャノヒゲ)	75	56
<i>Ardisia japonica</i> (ヤブコウジ)**	50	55
<i>Dryopteris erythrosora</i> (ベニシダ)	33	100
<i>Trachelospermum asiaticum</i> (テイカカズラ)	33	69
<i>Lycopodium serratum</i> (トウゲシバ)	25	9
<i>Cymbidium goeringii</i> (シュンラン)	25	60
<i>Athyrium yokoscense</i> (ヘビノネゴザ)	25	100
<i>Dryopteris bissetiana</i> (ヤマイタチシダ)	17	100
<i>Polystichopsis standishii</i> (リョウメンシダ)	17	100

* 下層植物群落の葉の生産量を調べた 12 林分中の出現頻度。

Frequency of leaf production in understories in the twelve stands.

** ヤブコウジを仮に含めた。

Ardisia japonica was temporarily included in the table.

2.4.1 下層植物群落の現存量と純生産量

幹+枝の純生産量を、幹+枝の成長率が幹の地際断面積成長率に等しいと仮定して求めると (Table 13, 方法 I), 樹幹解析と枝解析で求めた精度の高い値 (同 II) に比べて +18% (No. 18) あるいは -28% (No. 17) の違い (誤差) があった。幹+枝の成長率は幹の地際断面積合計の成長率よりも大きい場合と、小さい場合とがあることになる。

下層植物群落の現存量 (Table 12) 及び純生産量 (Table 13) は、乾性立地より中性立地で多かった。純生産量の 1/2 弱が葉に分けられていた。地上部純生産量 (Table 13) を葉面積 (Table 8) で割った値 (葉の乾物生産能率) は乾性、中性立地でそれぞれ 0.55, 0.59 t/ha・y となった。中性立地の方がやや高い。しかし、常緑広葉樹あるいは落葉広葉樹林の林冠の葉の乾物生産能率が 1.9 ないし 3.4 t/ha・y (佐藤, 1973) であるのに比べると 1/3~1/6 程度しかなく、小さい。

非同化器官の純生産量と現存量との比を年回転率と見なせば、非同化器官の回転率は乾性立地で 0.17/y, 中性立地で 0.14/y であり、乾性立地の方がやや大きい。

2.5 下層植物群落の種数と繁殖体の供給

材料と方法

下層植物群落の種数の挙動を明らかにするため、1979~1984 年の間で 8, 9 月の時期を選び、38 林分 (Table 1) のそれぞれに 10 m×10 m の方形区を設けた。そして、下層植物群落の葉量などを調べた 12 林分 (Nos. 4, 5, 11, 15~20, 34, 37, 38) では下層植物群落を低木層と草本層とに分けて、また、ほかの林分では両層を一括して区内に出現したシダ植物以上の高等植物の種名を判別し植被率を測った。

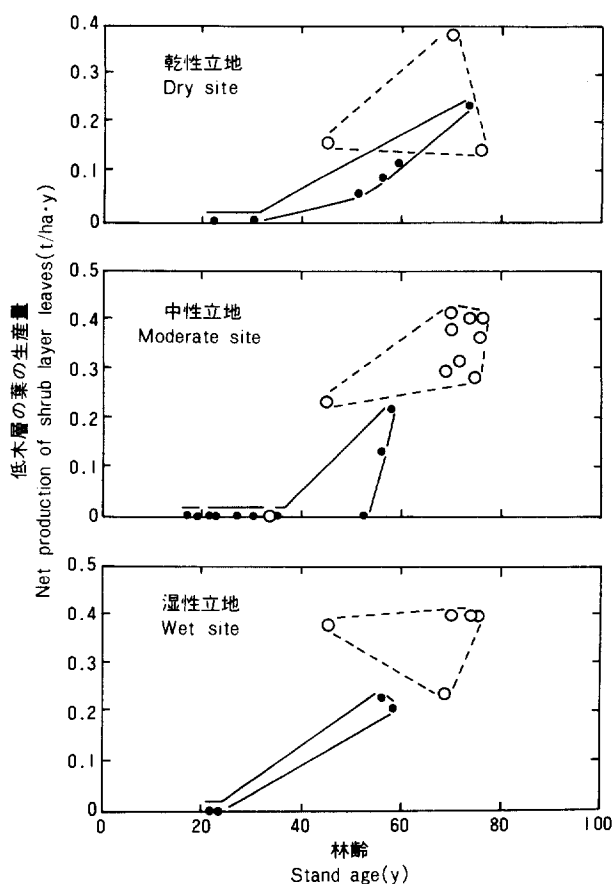


Fig. 19. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と低木層の葉の生産量の関係
Net production of leaves in shrub layer in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

芽生えしか出現しない種でも1種に数えた。

次に、種数とかかわりの深い繁殖体の供給の有様を明らかにするため、下記の三つの調査を行った。

林内における種子生産の有様を明らかにするため、立地区分や林齢の異なる12林分で結実状況を調べた。1979～1984年の間で9、10月の時期を選んで1林分1回あてで調べた。

林外からの繁殖体供給の有様を明らかにするため、中性立地の31年生林分(No. 15)で1982年10月に林床にB層土壌を厚く敷きつめた区(B層区)と無処理区(A₀層区)を設け、11～12月に間伐(Table 14)を行って翌年9月に区内の芽生えの種を判別し個体数を数えた。中性立地の70年生林分(No. 17)では1979年10月にA₀層とA層土壌を広くはぎ取り、B層をむき出しにした区(B層区)と無処理区(A₀層区)を設け、間伐(Table 15)を行って翌年9月に区内の芽生えの種を判別し個体

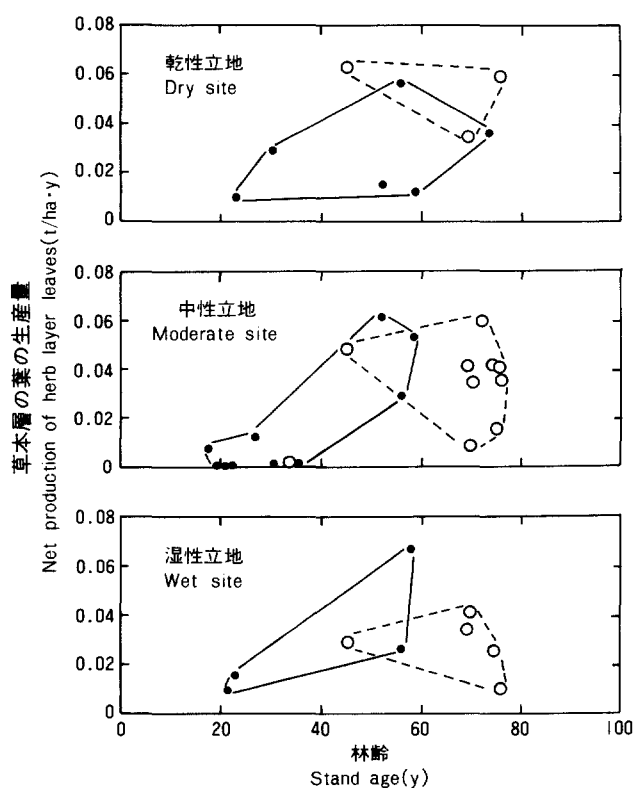


Fig. 20. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と草本層の葉の生産量の関係
Net production of leaves in herb layer in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号及び各線は Fig. 8 と同じ。

Symbols and lines are same as Fig. 8.

Table 12. ヒノキ人工林における下層植物群落の現存量

Biomass of understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	層 Layer	現存量 Biomass(t/ha)				
		葉 Leaves	幹+枝 Stems+branches	根 Roots	SC 根株* SC roots*	合計 Total
18	低木層 Shrub layer	0.39	1.53	0.52	0.03	2.46
	草本層 Herb layer	0.02	0.01	0.03	—	0.06
	計 Total	0.41	1.54	0.55	0.03	2.52
17	低木層 Shrub layer	0.51	3.41	1.19	0.04	5.17
	草本層 Herb layer	0.05	0.01	0.11	—	0.17
	計 Total	0.56	3.42	1.30	0.04	5.34

* Seedling coppice の根株現存量

Biomass of seedling coppice roots

Table 13. ヒノキ人工林における下層植物群落の純生産量
Net production of understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	層 Layer	純生産量 Net production (t/ha・y)					
		葉 Leaves	幹+枝** Stems+Branches**		根*** Roots	SC根株* SC roots*	合計 Total
			方法Ⅰ Method I	方法Ⅱ Method II			
18	低木層 Shrub layer	0.18	0.17	0.20	0.06	+	0.41
	草本層 Herb layer	0.02	0.01	—	?	—	0.03
	計 Total	0.20	0.18	0.20	0.06	+	0.44
17	低木層 Shrub layer	0.27	0.29	0.21	0.11	+	0.67
	草本層 Herb layer	0.06	0.01	—	?	—	0.06
	計 Total	0.32	0.30	0.21	0.11	+	0.73

*Seedling coppice の根株純生産量は測定できなかったがわずかであろう。

Net production of seedling coppice roots is probably negligible.

**方法Ⅰ：幹+枝重量成長率は幹+枝材積成長率に等しいとした。

Method I : Assuming the weight growth rate of stems+branches is equivalent to that of volume.

方法Ⅱ：幹+枝重量成長率は幹の地際断面積成長率に等しいとした。

Method II : Assuming the weight growth rate of stems+branches is equivalent to that of stem basal area.

***根の重量成長率は幹+枝材積成長率に等しいとした。

Assuming the weight growth rate of roots is equivalent to that of stems+branches volume.

Table 14. 林外からの種子供給を調べた31年生ヒノキ林の概況

General descriptions of 31-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand where seed dissemination from outside of the stand was investigated.

林冠木の諸数値と RLla Values of canopy trees and RLla	間伐前 Before thinning	間伐後 After thinning
平均樹高 Mean tree height(m)	13.5	13.5
葉面積 Leaf area (ha/ha)	4.2	3.2
葉重量 Leaf weight (t/ha)	12.7	9.7
胸高断面積合計 Basal area (m ² /ha)	45.5	34.6
RLla (%)	0.9	5.5

Table 15. 林外からの種子供給を調べた70年生ヒノキ林の概況

General descriptions of 70-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand where seed dissemination from outside of the stand was investigated.

林冠木の諸数値と RLla Values of canopy trees and RLla	間伐前 Before thinning	間伐後 After thinning
平均樹高 Mean tree height(m)	15.7	15.7
葉面積 Leaf area (ha/ha)	3.2	1.7
葉重量 Leaf weight (t/ha)	10.0	5.3
胸高断面積合計 Basal area (m ² /ha)	51.3	36.8
RLla (%)	3.7	20.0

数を数えた。種子は地面に散布された後も地表流下水とともに斜面を下る (MORTIMER, 1974) ので、No. 17 林分では B 層区の周囲に溝を掘り地表流下水が入るのを防いだ。

22 年生の乾性 (No. 26) と湿性 (No. 28), 70 年生の乾性 (No. 23) と湿性 (No. 25) 各立地の林分で埋土種子の種組成を調べた。1986 年 3 月 20 日に面積 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 厚さ任意の A_0 層と深さ 5 cm の A 層土壌を 1 単位とするサンプルを各林分の様々な傾斜の斜面 6 か所 (合計 24 か所) で採り、約 3 か月間 $1 \sim 5^\circ\text{C}$ の間で低温保存した後、0.5 mm 目の試験ふるいと水道水を使って鉍質土壌を洗い流し、残りをバーミキュライト上にまきつけて含まれていた種子を 7 月 7 日から 96 か日間に発芽させた (Fig. 21)。芽生えは種を判別し個体数を数えた。なお、本方法では試験ふるいの目より径の小さな種子は集められず、また、低温保存の発芽促進効果は期待できるもののすべての種子が発芽したかどうかは分からない。従って、必ずしもすべての埋土種子が調べられたわけではない。

2.5.1 下層植物群落の種数

(1) 下層植物群落の種数

無処理林分の種数は 30 年生未満の林分ではわずかに 10 程度であるが、30~40 年生以上の林分ではより多かった (Fig. 22)。間伐履歴の影響は不明瞭であった。

乾性及び中性立地の 40 年生以上の林分の種数はそれぞれ 34 ± 8 (平均値と標準偏差) と 31 ± 9 (同) で、両者の平均種数の間に有意差はなかった。しかし、湿性立地のそれは 44 ± 7 (同) と前二者に比べ多く、この傾向は有意 (危険率 5%) であった。

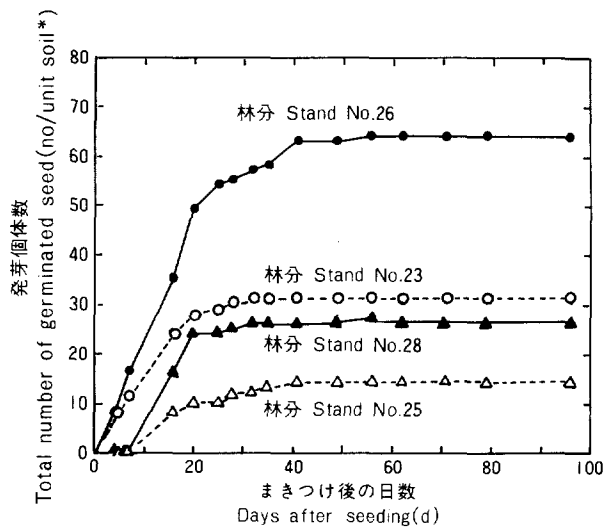


Fig. 21. ヒノキ人工林の埋土種子の実験室における発芽経過

Process of germination in laboratory of the unearthed seeds from *Chamaecyparis obtusa* plantations.

* 面積 600 cm^2 で厚さ任意の A_0 層及び深さ 5 cm までの A 層土。

A-horizon 5 cm deep and A_0 -layer in 600 cm^2 land area.

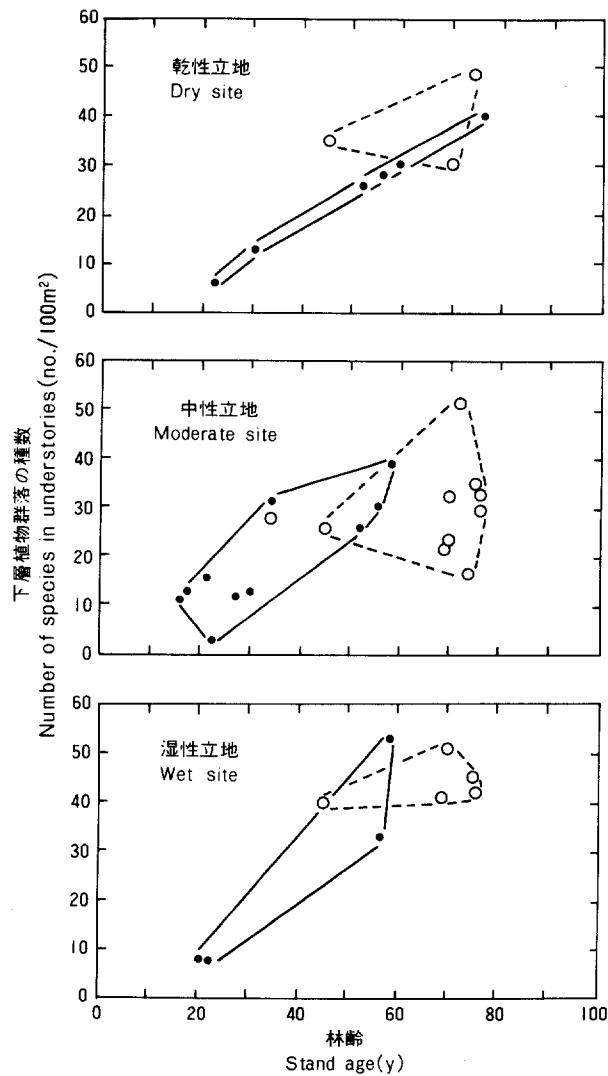


Fig. 22. ヒノキ人工林における立地区分・間伐履歴別の林齢と下層植物群落の種数の関係
(清野, 1988 b を改変)

Number of species in understories in relation to site class, a history of thinning and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1988 b revised)

●: 無処理林分 Control, ○: 間伐林分 Thinned stand.

各線は Fig. 8 と同じ。Lines are same as Fig. 8.

(2) 低木層の発達と下層植物群落の種数

低木層、草本層別に種数を調べた 12 林分について低木層の発達と下層植物群落の各層種数との関係を求めた (Fig. 23)。Fig. 23 ではヤブコウジやコウヤボウキなど木本植物ではあっても、小さく幹の寿命が短いなど草本植物に似た生育特性を持つ種を草本植物に含めた。

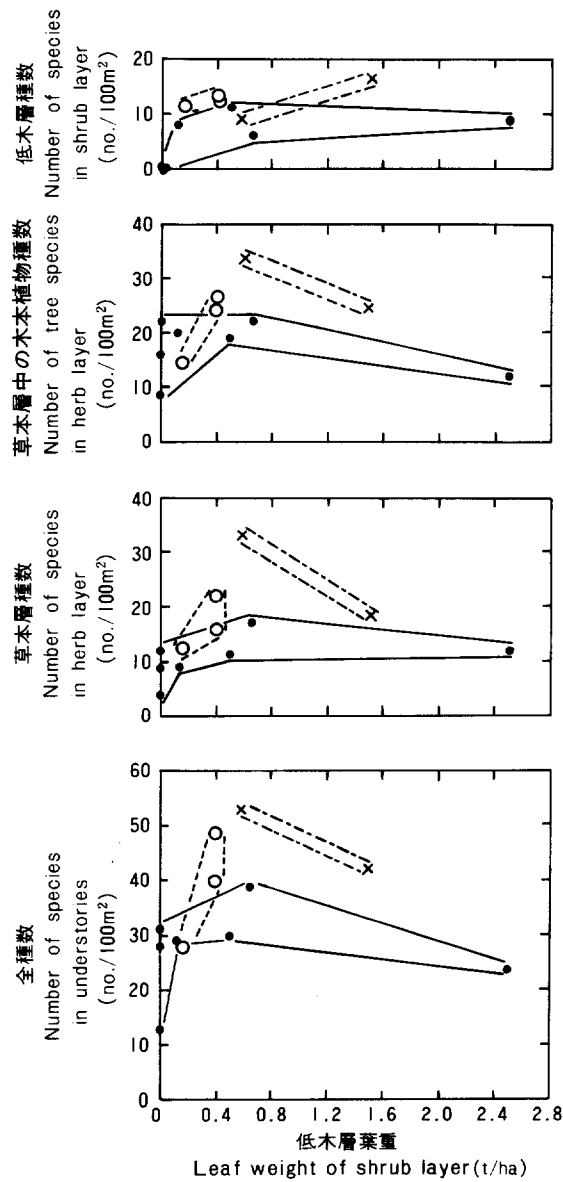


Fig. 23. ヒノキ人工林における低木層葉重と各層種数の関係

Number of species in each layer of understories in relation to leaf weight of shrub layer in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

○: 乾性立地 ●: 中性立地 ×: 湿性立地
 Dry site Moderate site Wet site

中性立地の林分では低木層種数は低木層葉量 (LW_s) の増加に対し飽和曲線で表される関係にあった。また、草本層中の木本植物種数及び草本植物種数はそれぞれ LW_s の増加に対し凸な曲線で表される関係にあった。他立地の林分では測定林分数が少なく、 LW_s の範囲も狭いため明らかな傾向を得られなかった。ただ、立地区分の異なる林分間では傾向の分離が認められる (Fig. 23)。

草本層種数が全種数に占める割合は平均 92% と高かった (Fig. 24)。これは低木層構成種の小個体が草本層中に生育しているためである。そのため、全種数の示す傾向は草本層中の木本植物種数及び草本植物種数の傾向と似たものとなった (Fig. 23)。

(3) 草本層植被率と下層植物群落の種数

下層植物群落の種数に占める草本層種数の割合が大きく、かつ、草本層種数と草本層植被率との間に一定の関係が認められる (Fig. 25) ので、草本層植被率は下層植物群落の種数を指標する。下層植物群落の種数は草本層植被率の増加に対して飽和曲線で表される関係にあり、種数の増加傾向が明らかなのは草本層植被率が 20~30% 以下のときであった (Fig. 26)。乾性立地における傾向と中性立地のそれとの違いは不明瞭であるが、同じ草本層植被率のときの湿性立地の種数は他の立地よりも多かった。

2.5.2 下層植物群落の繁殖体の供給

(1) 林内における種子生産

中性立地の 16~34 年生林分 (Nos. 11, 15, 34) では種子は生産されていなかった。55~73 年生林分 (Nos. 4, 5, 16~20, 37, 38) ではキッコウハグマ (Nos. 4, 5, 16~20, 37) チゴユリ (Nos. 4, 5, 16~18, 20), ハエドクソウ (Nos. 17, 18), ナルコユリ (No. 17) の草本植物各種の結実が認められた。木本植物では多くの林分 (Nos. 4, 5, 16, 18~20, 37, 38) でヤブコウジ、湿性立地の林分 (Nos. 19, 37) に限ってアオキ (Nos. 19, 37), ヤブムラサキ (No. 19), サンショウ (No. 19) 各種

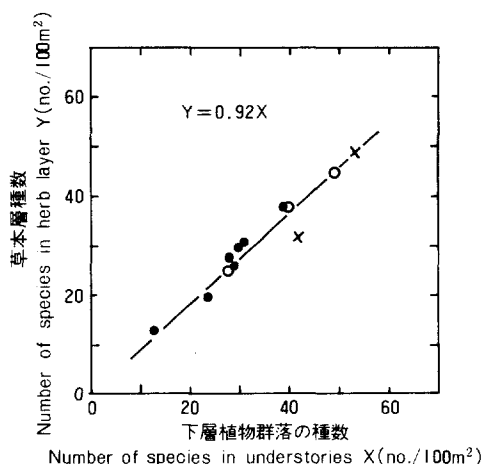


Fig. 24. ヒノキ人工林における下層植物群落の種数と草本層種数の関係
Number of species in herb layer in relation to that in understories in
Chamaecyparis obtusa plantations.

符号は Fig. 23 と同じ。Symbols are same as Fig. 23.

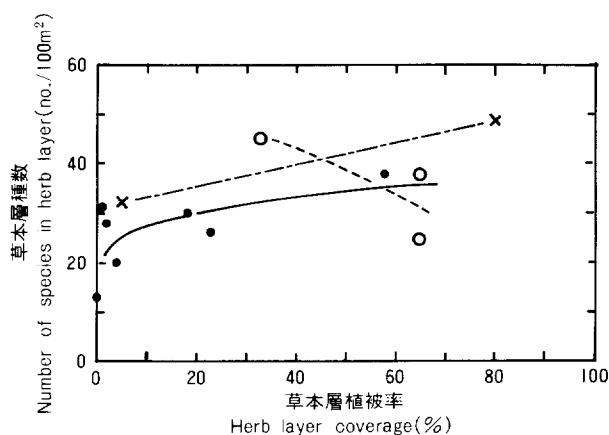


Fig. 25. ヒノキ人工林における草本層植被率と草本層種数の関係
Number of species in herb layer in relation to herb layer coverage in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号は Fig. 23 と同じ。Symbols are same as Fig. 23.

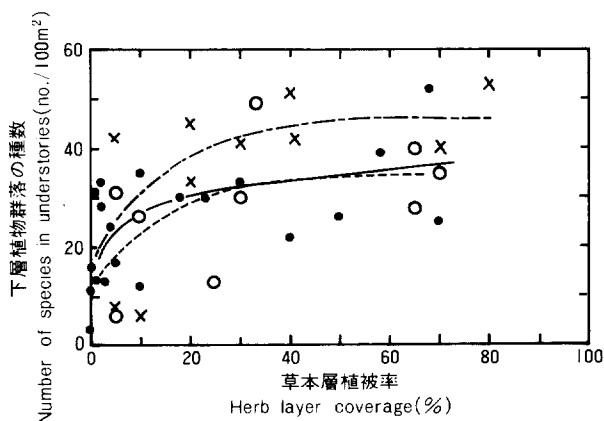


Fig. 26. ヒノキ人工林における草本層植被率と下層植物群落の種数の関係
Number of species in understories in relation to herb layer coverage in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号は Fig. 23 と同じ。Symbols are same as Fig. 23.

の結実が認められた。中性立地の No. 16 林分では湿性立地の林分 (Nos. 19, 37) 以上に下層植物群落が発達していたが、ヤブコウジ以外の木本植物はほとんど結実していなかった。

(2) 林外からの繁殖体供給

31 年生林分, 70 年生林分ともに A₀ 層区と B 層区とでは芽生えの種組成にやや大きな違いがあった (Tables 16, 17)。31 年生林分では個体数の違いは小さかった。しかし, 70 年生林分では B 層区の個体数が少なく, 木本性の種だけでは A₀ 層区の 53%, 全種では同 43% しかなかった。

Table 16. 31 年生ヒノキ林における芽生えの種組成

Floristic composition of seedlings in 31-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand.

種 Species	芽生え数 Number of seedlings(no./m ²)									
	A ₀ 層上 On A ₀ -layer								B層上 On B-horizon	
	区 Plot								区 Plot	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2
<i>Fraxinus sieboldiana</i> (マルバアオダモ)	2	1	5	1		2	2	1		
<i>Stephanandra incisa</i> (コゴメウツギ)	1	1	1			1	3			
<i>Akebia trifoliata</i> (ミツバアケビ)			1	3	1		1			1
<i>Carex</i> spp. (スゲ属の種)		1	1		1			1	2	1
<i>Mallotus japonicus</i> (アカメガシワ)					1		1	1		
<i>Lindera umbellata</i> (クロモジ)				2			1			
<i>Prunus leveilleana</i> Koehne(カスミザクラ)	2								1	
<i>Quercus serrata</i> (コナラ)									1	1
<i>Carpinus laxiflora</i> (アカシデ)									1	1
<i>Prunus grayana</i> (ウワミズザクラ)									2	
その他 Others	3	1	2		1	3	1	1	7	4
木本芽生え数 Number of tree seedlings (no./m ²)	8	4	9	5	0	3	9	3	8	5
全芽生え数 Number of seedlings (no./m ²)	8	5	12	5	2	6	9	4	14	8

埋土種子はおもに土の表層に分布する(沼田ほか, 1964)ので通例 B 層中の種子量は無視できる。B 層区の芽生えは 10 月から翌年 9 月までの 1 年間に林地に散布された繁殖体由来する。また, A₀ 層区と B 層区の個体数の差は, 発芽床の影響を無視すれば, 1 年以上前に散布された繁殖体由来する量を示す。31 年生林分で間伐後発生した芽生えの大半は最近 1 年間に散布された繁殖体由来していると考えられる。また, 70 年生林分で間伐後に発生した芽生えのうち 43% は最近 1 年間に, 57% は 1 年以上前に散布された繁殖体それぞれ由来していると考えられる。

なお, 個体数は 70 年生林分の方が多い (Tables 16, 17) が, 間伐後の林内相対照度に違いがある (Tables 14, 15) ので比べることはできない。

(3) 埋土種子

埋土種子数は 22 年生林分が 70 年生林分より多く, また, 乾性立地が湿性立地より多かった (Table 18)。22 年生林分ではコハコベ, ネナシカズラ, カタバミなど陽性の草本植物の種子が著しく多かった。木本植物ではキイチゴ属の種 (近くで見られるものにはクサイチゴ, モミジイチゴ, ニガイチゴ, クマイチゴ, ナワシロイチゴがある), キブシ, ヒノキなどがあつた。70 年生林分では種子数の 1/4 程度について種ないし属, 科を判別できなかった。判別できたものについて見ると陽性の草本植物はごく少なかった。木本植物ではキイチゴ属の種, キブシ, ヒノキ, ムラサキシキブ, アカメガシワがあつた。木本植物の種数及び個体数はともに同立地の 22 年生林分に比べてやや多かった。以上のとおり, 林齢の異なる林分間では埋土種子の種組成に大きな違いがある。

Table 17. 70 年生ヒノキ林における芽生えの種組成

Floristic composition of seedlings in 70-year-old *Chamaecyparis obtusa* stands.

種 Species	芽生え数 Number of seedlings (no./2m ²)			
	A ₀ 層上 On A ₀ -layer		B 層上 On B-horizon	
	区 Plot 1	2	区 Plot 1	2
<i>Callicarpa japonica</i> (ムラサキシキブ)* ¹	24	31	3	1
<i>Broussonetia Kajinoki</i> × <i>B. papyrifera</i> (コウゾ)	44	7	10	17
<i>Ainsliaea apiculata</i> (キッコウハグマ)**	11	21		
<i>Aralia elata</i> (タラノキ)	9	10		3
<i>Mallotus japonicus</i> (アカメガシワ)	15	2	5	2
<i>Stachyurus praecox</i> (キブシ)	6	10	20	9
<i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i> (モミジイチゴ)* ²	7	7	15	13
<i>Swertia japonica</i> (センブリ)	2	12		1
<i>Phryma leptostachya</i> subsp. <i>asiatica</i> (ハエドクソウ)**	2	12		
<i>Fagara mantchurica</i> (イヌザンショウ)	7	4	2	
<i>Erigeron canadensis</i> (ヒメムカシヨモギ)	3	7		4
<i>Youngia japonica</i> (オニタビラコ)	6	1		1
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (チヂミザサ)		4	3	1
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (ノブドウ)		4		1
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)**	2	1		2
<i>Solanum japonense</i> (ヤマホロシ)	3			
<i>Actinidia polygama</i> (マタタビ)	3			
<i>Ajuga nipponensis</i> (ジュウニヒトエ)		3		
<i>Duchesnea indica</i> var. <i>leucocephala</i> (ヘビイチゴ)		2	4	1
<i>Viola grypoceras</i> (タチツボスミレ)	1	1	3	
<i>Lysimachia clethroides</i> (オカトラノオ)		2	1	1
<i>Ardisia japonica</i> (ヤブコウジ)**	2			
<i>Hypericum erectum</i> (オトギリソウ)		2		
<i>Celastrus orbiculatus</i> (ツルウメモドキ)	2			
<i>Kadsura japonica</i> (サネカズラ)	2			
<i>Ophiopogon japonicus</i> (ジャノヒゲ)	2			
<i>Akebia trifoliata</i> (ミツバアケビ)	1			1
<i>Lindera umbellata</i> (クロモジ)	1		1	
その他 Others	14	21	5	12
本木芽生え数 Number of tree seedlings (no./2 m ²)	122	74	56	48
全芽生え数 Number of seedlings (no./2 m ²)	173	160	73	69

*¹ *C. mollis* (ヤブムラサキ) を含む。Including *C. mollis*.*² *R. microphyllus* (ニガイチゴ) と *R. crataegifolius* (クマイチゴ) を含む。Including *R. microphyllus* and *R. crataegifolius*.

** 林内で種子が生産されている。

Seeds are produced in the stand.

Table 18. ヒノキ人工林における埋土種子の種組成

Floristic composition of buried seeds in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

種 Species	埋土種子数 Number of buried seeds (no./unit soil*)			
	22年生林分 22-year-old stand		70年生林分 70-year-old stand	
	乾性立地 Dry site	湿性立地 Wet site	乾性立地 Dry site	湿性立地 Wet site
<i>Stellaria media</i> (コハコベ)	26	8	1	1
<i>Cuscuta japonica</i> (ネナシカズラ)	13		1	
<i>Oxalis corniculata</i> (カタバミ)	1	4		
<i>Lysimachia japonica</i> (コナスビ)		4		
<i>Erigeron canadensis</i> (ヒメムカシヨモギ)		2		
<i>Pueraria lobata</i> (クズ)	1			
<i>Stephanandra incisa</i> (コゴメウツギ)		1		
<i>Rubus</i> spp. (キイチゴ属の種)	4		2	2
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)		2		3
<i>Carex</i> spp. (スゲ属の種)	4	6	8	2
<i>Stachyurus praecox</i> (キブシ)	6		4	2
<i>Callicarpa japonica</i> (ムラサキシキブ)			3	1
<i>Mallotus japonicus</i> (アカメガシワ)			1	
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (チヂミザサ)			1	
Other <i>Gramineae</i> spp. (イネ科の他種)	1	1		
不明 Unknown	5	1	8	3
木本埋土種子数 Number of tree seeds (no./unit soil*)	12	1	13	5
全埋土種子数 Number of seeds (no./unit soil*)	64	26	31	13

* Fig. 21 と同じ。

Same as Fig. 21.

22年生林分で認められた埋土種子は、同林分が成林する前の植物群落から散布された種子か、成林後に林外から供給された種子に由来する。立地条件などによっても異なるが成林は通常10年生のころであり、埋土期間の長い種子では12年間以上埋土状態にあった可能性がある。前に述べたとおり、乾性立地ではヤブコウジ以外の木本植物の種子はほとんど生産されていない。70年生林分でも成林以前に散布された種子が埋土し長期間生きている可能性がないとはいえないが、ごくわずかなものであろう。従って、乾性立地の70年生林分で確認されたムラサキシキブ、アカメガシワなどの木本植物の種子は、同林分が成林した後に林外から供給されたものと考えられる。ただ、湿性立地の70年生林分では種によって林内でも種子が生産される(前述)。ムラサキシキブの種子は林内で生産された可能性もある。

2.6 下層植物群落の諸量に及ぼす閉鎖林冠下の下刈の影響

草本層が失われると種数が減り (Fig. 26) A₀ 層被覆率も低下しやすくなる (Fig. 14)。低木層の過度な発達は必ずしも好ましいことではない。その除去が必要な場合もある(埴田, 1981)。ただ、先

に述べたとおり、下層植物群落の葉の乾物生産能率は林冠木の葉の $1/3 \sim 1/6$ しかなく、下刈後の下層植物群落の回復速度には危惧される点もある。そこで、低木層の十分発達した中性及び湿性各立地の閉鎖林分で下層植物群落を種々に下刈し、その後の下層植物群落の諸量の変化を調べた。

材料と方法

閉鎖林冠下の下刈が下層植物群落の諸量に及ぼす影響を明らかにするため、次の調査を行った。

1982年4月に中性立地の72年生林分（No. 17）及び湿性立地の72年生林分（No. 19）のそれぞれに $100\text{ m} \times 50\text{ m}$ の方形区、また、1979年4月に湿性立地の62年生林分（No. 35）に $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ の方形区を設け、区内の下層植物群落を下刈した（それぞれ下刈区 a, b, c と呼ぶ）。また、中性立地の70年生林分（No. 17）では別に1980年4月に $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ の方形区を設けて区内を下刈し、うち $10\text{ m} \times 20\text{ m}$ を放置し（下刈区 a'），残りに年2回（7, 9月）の下刈を6年間続けた（毎年下刈区）。下刈の刈り高は地上約 10 cm とした。

1回下刈後の下層植物群落の回復状況を明らかにするため、1985年10月に下刈区 a~c のそれぞれに $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ の調査区を設け、区内の下層植物群落の植被率と高さを測った。

下刈が木本植物の生存率に及ぼす影響を明らかにするため、1981年7~9月に下刈区 a' に 16 m^2 の調査区を設け、区内の木本植物を被下刈個体と無下刈の小個体別に印をつけ個体数の経年変化を4年間調べた。

下刈が下層植物群落の種組成に及ぼす影響を明らかにするため、1985年10月に下刈区 a, b と各区のそばにある無下刈の林地（無下刈区 a, b）のそれぞれに幅 2 m 、長さ 32 m の調査区を設け、 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ の小区ごとに出現したシダ植物以上の高等植物の種組成を調べ、種数一面積曲線を描いた。

毎年下刈が下層植物群落の諸量に及ぼす影響を明らかにするため、1985年10月に毎年下刈区の下層植物群落の植被率と高さを測った。また、1981年7~9月に 16 m^2 の調査区を設け、区内の木本植物を被下刈個体と無下刈の小個体別に印をつけ個体数の経年変化を3年間調べた。1985年10月には幅 2 m 、長さ 14 m の調査区を設け、 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ の小区ごとに出現したシダ植物以上の高等植物の種を調べ、種数一面積曲線を描いた。

2.6.1 1回の下刈が及ぼす影響

(1) 植被率、植被率×高さの回復速度

下刈区の下層植物群落の植被率、植被率×高さの増加速度は、無処理林分のそれらが40年生以降に増える速度よりも速かった（Fig. 27）。下刈区の被下刈個体は再生の際に残された栄養器官内の貯蔵養分を利用できる。無処理林分の個体が種子ないしごく貧弱な栄養器官から成長をはじめるのに比べて有利である。また、無下刈地がすぐそばにあるので種子などが供給されやすい。このように恵まれているために、群落の回復が速やかに進んだのであろう。

(2) 木本植物の生存率

下刈された下層木本個体のうち95%が萌芽した。萌芽個体の生存曲線と下刈時の樹高が 10 cm 未満であったために下刈されなかった小個体のそれとを比べると、小個体の1983~1984年の生存率が特に低かったほかはほぼ平行的であり、毎年の生存率は同程度の値であった（Fig. 28）。1983年から1984

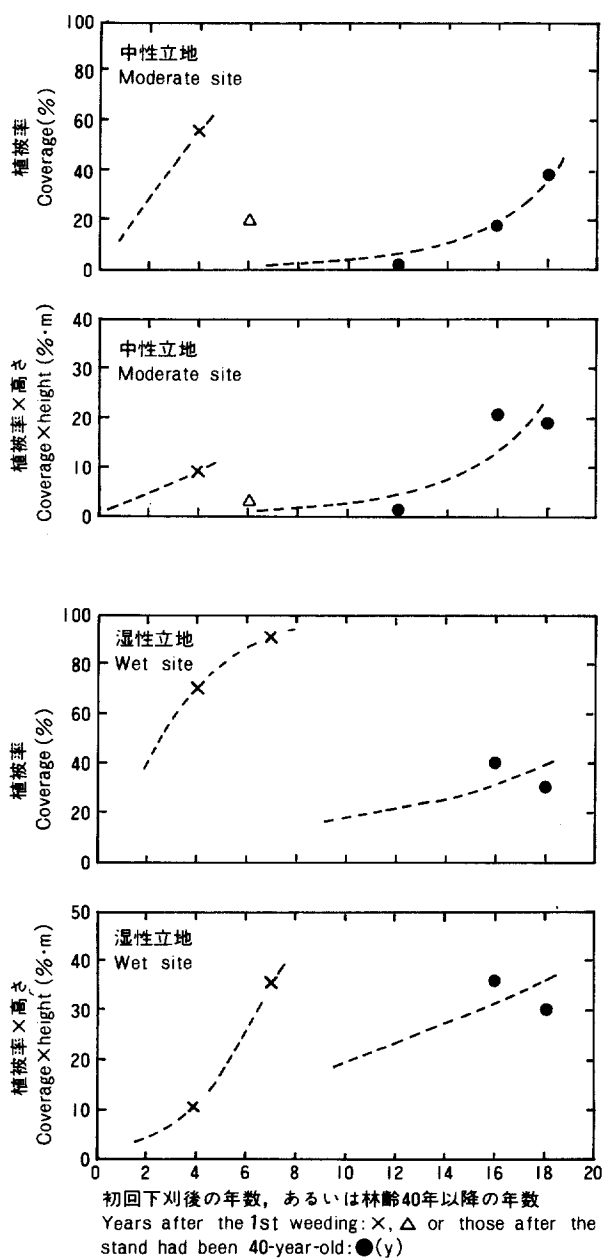


Fig. 27. ヒノキ人工林における下層植物群落の下刈後の回復
Recovery of understories after the weeding in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

●: 無処理区 ×: 下刈区 △: 毎年下刈区
Control Weeded Weeding was practiced every year.

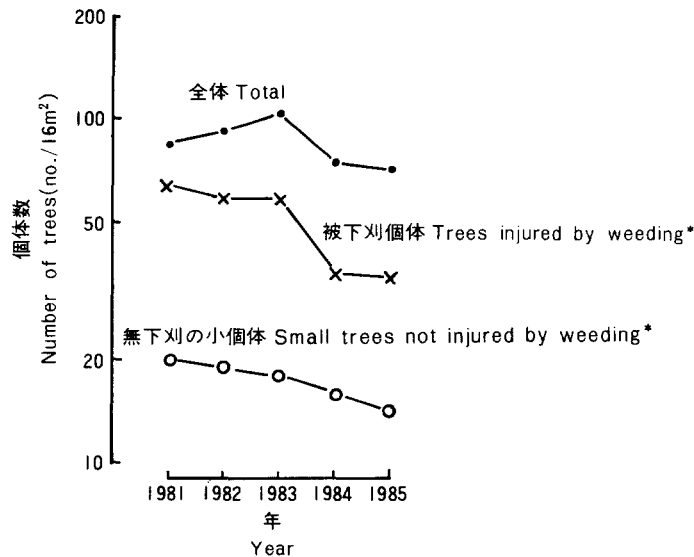


Fig. 28. ヒノキ人工林の下刈区における木本個体数の経年変化
Annual changes in number of understories trees in the weeded
Chamaecyparis obtusa plantation.

* 1980 年の 4 月に下刈された。Weeding was practiced on April, 1980.

年にかけては例年になく降雪量が多かった (日本気象協会, 1983; 1984)。それが小個体の枯死の主な原因であろう。一方, 萌芽個体の生存曲線には降雪の影響が認められなかった。萌芽個体は実生更新の小個体よりも降雪に対して耐性があると考えられる。

(3) 種数一面積曲線

中性と湿性のいずれの立地においても, 同じ土地面積に出現する種数は下刈区が無下刈区より多かった (Fig. 29)。その傾向は土地面積にかかわりなく (4 m^2 から 64 m^2 まで) 一貫していた。下刈で増えた種の構成に明らかな特徴はなく, 下刈区と無下刈区の出現種はほとんど共通していた。下刈区の種が無下刈区よりも多様なのは, 萌芽による再生個体に加えて林床の相対照度が高く, 実生個体が生き残りやすいためであろう。

2.6.2 毎年下刈が及ぼす影響

毎年下刈区の下層植物群落の植被率, 植被率×高さは下刈区よりも小さかったが, 植被率は無処理林分のそれよりは大きかった (Fig. 27)。また, 下刈区に比べて萌芽の生存率はやや低かった (Fig. 30)。しかし, 構成種や種数一面積曲線の傾向 (Fig. 29) に違いはなかった。毎年下刈区では高さ 10 cm 以上になる種の優占が制限される。刈り残されたあるいは刈られても損傷の少ない小個体は下刈区よりも高い照度下で育つ。こうした条件は背の低い非優占種 (チヂミザサやキッコウハグマなど多くの草本植物及びマット状に育つテイカカズラ) にとって有利 (MAHMOUD, 1973) である。例えば, チヂミザサ

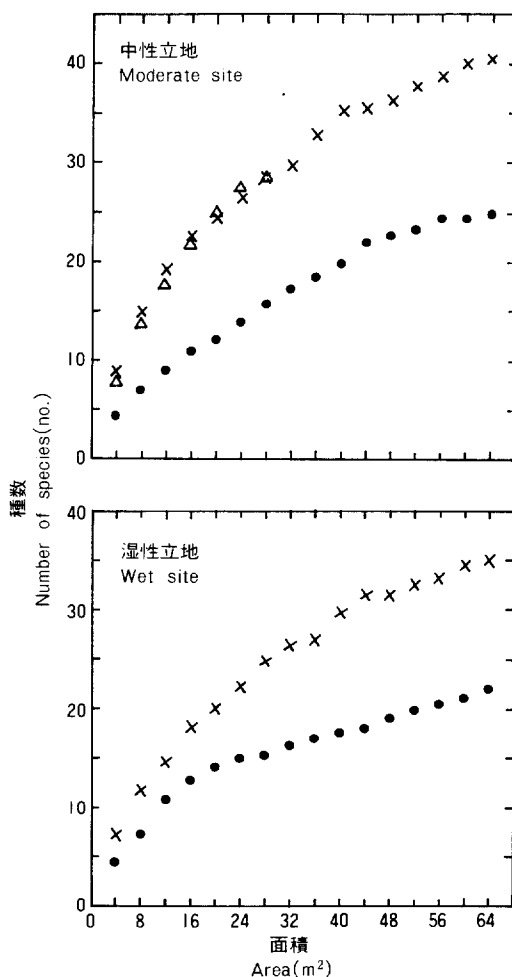


Fig. 29. 下刈がヒノキ人工林の下層植物群落の種数-面積曲線に及ぼす影響
Influence of weeding on the species-area curve in understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

●: 無下刈区 ×: 下刈区 △: 毎年下刈区
Control Weeded Weeding was practiced every year.

ではマット状のコロニーが年々その面積を広げていくのが観察された（ただし、1983年から1984年にかけての降雪期間中にほとんど枯れてしまった）。

以上、毎年下刈という厳しい条件下でも下層植物群落はある程度再生繁茂でき、構成種も変わらなかった。閉鎖林内の下刈によって下層植物群落が失われ林床が無植被状態になる可能性は小さい。

2.7 考 察

どの立地区分でも、無処理林分では40年生以降に下層植物群落がその植被率や高さ、葉量、葉の生産量、種数など多くの形質に顕著な増大・進展を見せた。さらに、これらに間伐の手を加えることによ

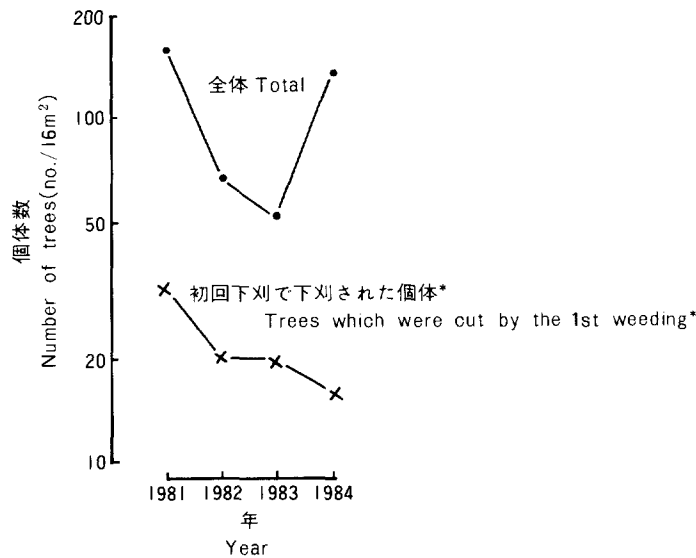


Fig. 30. ヒノキ人工林の毎年下刈区における木本個体数の経年変化

Annual changes in number of understories trees after the 1st weeding in *Chamaecyparis obtusa* plantation.

* 1980 年以来、毎年 4 月に下刈されている。

Weeding has been practiced on every April since 1980.

って、下層植物群落の葉量や葉の生産量、低木層植被率などは増え、草本層植被率も低木層植被率との関係を通して一定の影響を受けた。

こうした結果には 40 年生以上になること、あるいは間伐を行うことによって林冠葉量が減り (Fig. 3), RLIa が増加する (Fig. 5) ことが深くかかわっている。すなわち、閉鎖林分の RLIa は 6% 以下であった。林外の日平均照度は夏至の晴天日でも数万 lux (複層林施業班, 1983) であり、林内の日平均照度は最大数千 lux に過ぎない。この値は多くの木本植物及び陰性草本植物の単葉の光合成速度の光飽和点 5 000~50 000 lux (LARCHER, 1975) よりも小さいので、閉鎖林内の植物の多くは満度の光合成活動をしていない。そのため、40 年生ごろを境に RLIa が 2% 以下 (平均値と標準偏差 0.9 ± 0.4 %) から 1~6% (同 3.1 ± 1.3 %) へわずかに増える (Fig. 5) だけで、下層植物群落の生育に変化が起こる。

また、RLIa は湿性立地でやや低いものの立地間に大きな違いはなかった (Fig. 5)。しかし、40 年生以上の林分では立地が湿性であると下層植物群落の種数が多く、低木層の植被率や高さが高く、葉量及び葉の生産量が多かった。従って、光条件がある程度満足されると下層植物群落の生育に乾湿条件の影響が及ぶ (ZON and GRAVES, 1911)。

一方、閉鎖林分の地面付近の最高・最低気温 (Fig. 7) は林齢や林冠葉量、下層植物群落の有無と無関係であり、林齢に沿った下層植物群落の挙動を説明する要因としては問題にならない。また、通常の間伐によって RLIa は 13~14% 程度に増える (Fig. 5) が、相対照度 20% 以下での温度変化の範囲

は温帯性植物の生育期間における CO_2 固定の好適温度域 $10\sim 30^\circ\text{C}$ (LARCHER, 1975) の付近にあり、通常の間伐による温度変化は下層植物群落の生育に大きな影響を及ぼさない。

また、No. 15 林分では $31\sim 33$ 年生の間に2回の間伐が行われ(材積率は24%と25%で、2回の間伐を合わせると通常よりかなり強度の間伐である)、その前後の水収支や養分量などの挙動が詳しく調べられた。MORIKAWA et al. (1986) によれば、1回目間伐の前後で林分蒸散量は間伐率に見合うほどには減らなかった。さらに、降水の樹冠遮断率は材積率24%の間伐後に10%減るにとどまり(服部ほか, 1984)、2年後同25%の間伐を行った後では変化が認められなかった(坪山ほか, 1985; 1986)。要するに2回の間伐が林分の水収支に及ぼした影響は小さかった(近嵐ほか, 1987)。同じ林分・間伐について林内雨や土壌中の炭素・窒素現存量、リターの分解速度、林内大気の CO_2 濃度の変化を調べたが、間伐の明らかな影響は認められなかった(有光ほか, 1986)。従って、通常の間伐による林分の水収支や養分量などの変化が、下層植物群落の生育に重要な影響を及ぼすことは考えにくい。

このほか、壮齡林分で閉鎖林内の下刈の影響についても検討したが、毎年下刈という厳しい条件下でも下層植物群落はある程度再生繁茂でき(Figs. 27, 29, 30)、構成種も変わらなかった。

以上、光条件は下層植物群落の生育の第一要因である。光条件がある程度満足されると乾湿条件も影響力を持つ。

2.8 摘 要

(1) 茨城県の加波山、筑波山を中心とする山塊で、暖温帯上部に位置するヒノキ林の下層植物群落の動態を調べた。

(2) 積算気温(WI, CI)に沿った下層植物群落の各出現種の被度の分布には傾向がなかった。一方、下層植物群落は種組成の違いによって3タイプに分けられた。各タイプは乾湿条件の違いを表していると考えられる。各タイプの成立するところをそれぞれ乾性、中性、湿性立地と呼ぶ。

(3) 閉鎖林分の林冠葉量は $16\sim 32$ 年生林分で多く、 $55\sim 73$ 年生林分では少なかった。間伐履歴や乾湿条件は関係がなかった。林分の平均樹高成長に対し林冠の葉の生産量は正の比例関係、葉の平均寿命は負の比例関係にあった。林冠葉量は飽和曲線で表される関係にあり上限値を持った。

(4) 閉鎖林分の RL1a は $16\sim 34$ 年生林分では2%以下、同 $52\sim 76$ では $1\sim 6\%$ の範囲内にあった。林齢に沿った RL1a の変化は林冠葉量の変化にほぼ対応していた。閉鎖林分の RL1b は $1\sim 2\%$ の範囲内にあった。

(5) 閉鎖林分の地面付近の最高・最低気温は林齢や林冠葉量、下層植物群落の有無と関係がなく、下層植物群落の挙動を説明する要因としては問題にならない。また、通常の間伐による温度変化や水収支、養分量などの変化は下層植物群落の生育に重要な影響を及ぼさない。

(6) どの立地区分でも、無処理林分では40年生以降に下層植物群落がその植被率や高さ、葉量、葉の生産量、種数など多くの形質に顕著な増大・進展を見せた。さらにこれに間伐の手を加えることによって、下層植物群落の葉量、葉の生産量、低木層植被率などは増え、草本層植被率も低木層植被率との関係をとおして一定の影響を受けた。こうした結果には40年生以上になること、あるいは間伐を行うことによって林冠葉量が減り、RL1aが増加することが深くかかわっている。

(7) RL1a の立地間で大きくは変わらなかった。しかし、40 年生以上の林分では立地が湿性である と下層植物群落の種数が多く、低木層の植被率や高さが高く葉量及び葉の生産量が多かった。従って、 光条件がある程度満足されると下層植物群落の生育に乾湿条件の影響が及ぶ。

(8) 下層植物群落の現存量及び純生産量は、乾性立地より中性立地の林分で多かった。下層植物群落 の葉の乾物生産能率は林冠の葉のその 1/3~1/6 しかなかった。

(9) 林内における種子生産の有様や埋土種子の種組成は林齢や乾湿条件によって異なった。また、林 外から供給される繁殖体の種組成も林齢によって異なった。

(10) 閉鎖林内における種々の下刈の影響を調べたところ、毎年下刈という厳しい条件下でも下層植物 群落はある程度繁茂した。

(11) 光条件は下層植物群落の生育の第一要因である。光条件がある程度満足されると乾湿条件も影響 力を持つ。

3 下層木本植物の空間・齢構造の解析

これまでは、ある時点に成立している多数の林分を比較序列する方法で下層植物群落の成立過程を解 析した。また、一部の林分では低木層個体に印をつけ生存経過を追跡する方法で構造の時間的变化を調 べたが、短期間の調査では成立過程の全体を知ることはできない。そこで、下層植物群落の成立過程を 別な側面からも明らかにするため、下層植物群落のうちの木本植物の空間構造と齢構造を解析した。

3.1 解析方法の検討

材料と方法

我が国の木本植物は多くの場合、幹の年輪を数えるか幹や枝に残された頂芽鱗片の脱落痕跡（芽鱗痕） を数えてその齢を知ることができる。しかし、ヒノキ林の下層に育つ木本植物は成長が不良であるうえ に、時には同株内で古い幹の枯死と新幹の発生を繰り返す（清野、1986）ので、正しい齢を知ることの 難しい場合がある。

正しい齢を知るのが難しい種や生育状態を明らかにするため、1979~1982 年の間で 9、10 月の時期 を選び、乾性立地の 70 年生林分（No. 18）と中性立地の 70 年生（No. 17）及び 67 年生（No. 16）各 林分のそれぞれに 10 m×10 m の方形区を設け、区内の下層木本植物について次の調査を行った（清 野、1987 a）。

Nos. 16~18 林分でそれぞれ 622、279、521 個体を掘り採り、個体の形態を詳しく観察して幹の交 代履歴の有無や伏条更新によって成立した個体であるかどうかを判別した。そして、年輪による方法と 芽鱗痕による方法とを併せて齢を調べた。前者では地際部分の幹の木口面から薄い材の切片を採り、グ リセリンに浸した後、スライドガラスとカバーガラスに挟み、ホットプレート上で加熱して細胞内の気 泡などを除き、必要に応じ染色したうえで光学顕微鏡を使って髄から形成層までの年輪を数えた。

1981 年 9 月に No. 17 林分で個体数の多い 13 種から合計 76 個体を選んで 3 年間追跡し、種または 属ごとに幹シュートの年節間数を調べた。

1984 年 10 月に Nos. 16~18 林分で常緑広葉樹のうち個体数の多い 4 種（シロダモ、ヒサカキ、ア

オキ、シラカシ)の稚樹(高さ 20 cm 未満)を各種 14~40 個体選んで 1 年間追跡し、新生葉の発生の有無を調べた後に幹の年輪を読んで新生年輪の有無を確かめた。

1983 年 5 月に Nos. 16, 18 林分で健全な幹を持つ個体(健全)と古い幹が枯れ、萌芽による新しい幹のみ生存する Seedling coppice とを種あるいは生活型の似た種群ごとに 12~56 個体選び、3 年間追跡して生育状態の変化を調べた。

1981 年 9 月に No. 17 林分で伏条更新個体を各種 3~15 個体選び、2 年間追跡して個体数の変化を調べた。

3.1.1 芽鱗痕による齢の測定方法の検討

細い幹や枝について芽鱗痕を数えるのは多くの場合やさしかった。しかし、芽鱗痕が不明瞭なヒサカキや、シュートの年節間数が 1 を超えて不定なシラカシ、ガマズミ、コバノガマズミ、ヤブムラサキ、ムラサキシキブ(Table 19)の各種の個体及び Seedling coppice の齢はこの方法では分からない。

3.1.2 年輪による齢の測定方法の検討

芽鱗痕による方法で正しい齢が分かると判断された種について、年輪による結果と比べたところ、種あるいは個体の成長状態によって、梢端に近い幹の年輪形成は正常であるにもかかわらず地際の幹には年輪が作られず、年輪による齢が過小になることがあった。こうした見かけ上年輪が作られない現象は年輪欠如と呼ばれ、これまでに知られている(尾中, 1950; 安藤ほか, 1968)。

ヤマツツジ、ハナイカダ、ヤマウルシ、クロモジには年輪欠如が認められ、欠如年数は個体の成長が不良であると増える傾向があった(Fig. 31)。しかし、アオキ、シロダモ、サンショウには欠如が認め

Table 19. ヒノキ人工林における下層木本植物各種の幹シュートの年節間数(清野, 1987 a)
Number of nodes per shoot of tree species in understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations (Kiyono, 1987 a).

種 Species	幹の地際直径 Stem diameter at base	
	< 0.6 cm	0.6 cm ≤
<i>Rhododendron kaempferi</i> (ヤマツツジ)	6/6* = 1.0**	12/12* = 1.0**
<i>Helwingia japonica</i> (ハナイカダ)	8/8 = 1.0	5/5 = 1.0
<i>Lindera umbellata</i> (クロモジ)	7/7 = 1.0	6/6 = 1.0
<i>Rhus trichocarpa</i> (ヤマウルシ)	5/5 = 1.0	6/6 = 1.0
<i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ)***1	45/36 = 1.3	9/5 = 1.8
<i>Callicarpa japonica</i> (ムラサキシキブ)***2	20/10 = 2.0	10/6 = 1.7
<i>Zanthoxylum piperitum</i> (サンショウ)	3/3 = 1.0	9/9 = 1.0
<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	3/3 = 1.0	10/10 = 1.0
<i>Neolitsea sericea</i> (シロダモ)	8/8 = 1.0	5/5 = 1.0
<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	4/3 = 1.3	14/11 = 1.3
<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	6/6 = 1.0	12/12 = 1.0

* 幹シュートの節間数/幹シュート数。Number of nodes in shoots/number of the shoots.

** 1 幹シュート当たりの節間数 (no./シュート・年)。Number of nodes per shoot (no./shoot・y).

***1 *Viburnum erosum* (コバノガマズミ)を含む。Including *Viburnum erosum*.

***2 *Callicarpa mollis* (ヤブムラサキ)を含む。Including *Callicarpa mollis*.

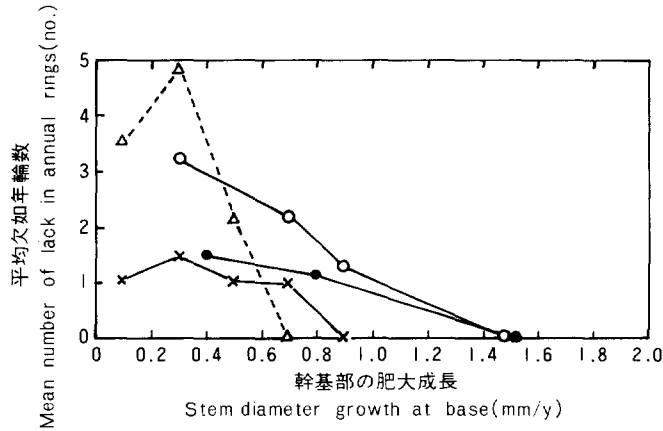


Fig. 31. ヒノキ人工林の下層木本個体における肥大成長の良否と年輪欠如 (清野, 1987 a)
Relationship between stem diameter growth and lack in annual rings in the trees of understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1987 a).

△: *Rhododendron kaempferi* (ヤマツツジ) ○: *Helwingia japonica* (ハナイカダ)
●: *Rhus trichocarpa* (ヤマウルシ) ×: *Lindera umbellata* (クロモジ)

られなかった。

3.1.3 葉も年輪も新生しない常緑の稚樹

葉の寿命の長い常緑樹は、毎年葉を新生しなくても葉を保てるので、旧葉だけである期間生きられる。田川 (1979) はコジイ林の林床で8年間に葉を2枚しか新生しなかった稚樹の例を認めている。また、上層林冠を構成するスギやヒノキでも、樹冠下部の枝の中には数年間葉も年輪も新生しないものがある (清野, 未発表)。

常緑広葉樹4種のうちアオキとヒサカキはすべての稚樹が葉と年輪を新生した。しかし、シロダモの稚樹の8%, シラカシの稚樹の35%は葉も年輪も新生しなかった。シロダモとシラカシの稚樹の中には真の齢が見かけの齢よりも高いものがあることになる。

以上のとおり、年輪欠如には前に述べたヤマツツジのように新生葉のそばでは年輪が作られるにもかかわらず、距離の遠い地際の幹ではそれが認められないタイプと、ここで述べたシラカシのように葉も年輪も新生しないタイプとの2型が認められる。前者を年輪欠如I型、後者を同II型と呼ぶ (清野, 1987 a)。

3.1.4 Seedling coppice

落葉広葉樹のうち個体数の多いクロモジ、ヤマウルシ、ムラサキシキブは幹が枯れる際に新幹を発生する頻度が高く、一方、個体数の少ないほかの種の頻度は低い傾向があった (Table 20)。常緑広葉樹の Seedling coppice は見られなかった。

また、Nos. 16~18林分で個体の形態を詳しく観察した結果、クロモジ、ヤマウルシ、ヤマツツジ、ガマズミ、コバノガマズミ、ヤブムラサキ、ムラサキシキブ、ハナイカダ、アオハダ、シラカシ各種に Seedling coppice が認められた。それらは幹の枯死と新幹の発生を繰り返すに従い、地上部を縮小し

Table 20. ヒノキ人工林における下層木本植物各種の seedling coppice の挙動 (清野, 1987a を改変)

Behavior of seedling coppice of tree species in understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1987a revised).

期首→期末の生育状態 Living conditions At the beginning→ At the end	種ないし生活型の似た種群とその個体数頻度 Species or group having the similar life form and its frequency (%)					
	クロモジ <i>Lindera umbellata</i>	ヤマウルシ <i>Rhus trichocarpa</i>	ヤブムラサキ* ¹ <i>Callicarpa mollis</i>	他落葉樹* ² Other deciduous species	ヒサカキ <i>Eurya japonica</i>	他常緑樹* ³ Other evergreen species
健全→健全 Normal→Normal	83.3	55.5	87.5	63.6	88.5	98.2
健全→SC** Normal→SC**	16.7	22.3	12.5	6.8	0	0
健全→枯死 Normal→Dead	0	22.3	0	29.5	11.5	1.8
SC→SC	90.9	54.5	50.0	50.0	0	50.0
SC→枯死 SC→Dead	9.1	45.5	50.0	50.0	0	50.0
個体数 Number of individuals	17	20	12	50	35	56

*¹ *C. japonica* (ムラサキシキブ) を含む。Including *C. japonica*.*² *Styrax japonica* (エゴノキ), *Stephanandra incisa* (コゴメウツギ), *Helwingia japonica* (ハナイカダ), *Symplocos chinensis* (サワフタギ), *Celastrus orbiculatus* (ツルウメモドキ), *Clethra barbinervis* (リョウブ), *Euscaphis japonica* (ゴンズイ) を含む。Including *Styrax japonica*, *Stephanandra incisa*, *Helwingia japonica*, *Symplocos chinensis*, *Celastrus orbiculatus*, *Clethra barbinervis*, *Euscaphis japonica*.*³ *Aucuba japonica* (アオキ), *Neolitsea sericea* (シロダモ), *Quercus myrsinaefolia* (シラカシ), *Elaeagnus glabra* (ツルグミ) を含む。Including *Aucuba japonica*, *Neolitsea sericea*, *Quercus myrsinaefolia*, *Elaeagnus glabra*.

**Seedling coppice.

ていると推定された。一方、サンショウとアオキ、ヒサカキ、シロダモは幹が枯れる際に萌芽を作らず個体ごと枯れていると推定された。上述の観察結果とは異なりシラカシに Seedling coppice を認めたが、数は少なかった。Seedling coppice が全体に占める個体数割合は、Nos. 16~18 林分でそれぞれ 10.8, 7.0, 13.6% であった。

Seedling coppice の齢の測定は難しく、特にモミジイチゴ、コウヤボウキなど幹がしばしば代わる種やヤブコウジなど幹の寿命の短い種では、ごく若い個体を除いて不可能である。しかし、幹の寿命の長い種で枯れた幹の基部が離れていない個体については Fig. 32 の方法 (清野, 1986) によって齢を推定できた。ただ、普通古い幹の枯死と新幹の発生とは同時には起こらず両幹はある期間共存するので、この方法で求めた齢は過大になる。一方、Seedling coppice の成長はきわめて不良であるので年輪欠如が起き、年輪で求めた齢が過小になる可能性もある。こうしたことから見て、Seedling coppice について求めた齢には、かなりの誤差があると考えられる (清野, 1986)。

3.1.5 伏条更新

種特性として地下茎、地上茎などの繁殖手段を持つモミジイチゴ、コウヤボウキのような種のほかに、

林内では倒木、落枝、土の移動などによって木本個体の地上部が倒され、枝の各節から発根、伏条更新したと見なせる事例が各種について認められた。また、間伐の後では被壓個体の成長が急に好転し、径の大きな新幹が発生する際に、古い幹が谷側に倒されて枝的な形をとり、さらには地面に接した枝の各節から発根する例も認められた。こうした新幹の発生に前後して古い幹が倒れ、あるいはたわんで枝的な形になる生育型は、岩田 (1973) が類別した低木の二つの出枝様式の一つに当たる。

Nos. 16~18 林分で、叢生状態で育つなど伏条更新によって成立したと見なせる個体、あるいは枝などから現に発根し、個体を新生しつつある親個体

(以下、伏条更新個体) が認められたのはクロモジ、ヤマツツジ、ガマズミ、コバノガマズミ、ヤブムラサキ、ムラサキシキブ、ハナイカダなどの各種であった。伏条更新個体の全体に占める個体数割合は Nos. 16~18 林分でそれぞれ 2.4, 5.5, 9.6% であった。伏条更新個体には成長不良のものが多く、幹は年輪欠如を起こしている可能性が高い。従って、年輪解析によって正しい齢を知ることは難しい。しかし、個体の生存率は概して低く (Table 21)、寿命が短いので若い個体が多い。多くの個体は芽鱗痕を数えて容易に齢を知ることができた。ただし、発根時の繁殖子の齢が分らないので、個体の齢を発根後の年数と見なすことができない。

3.1.6 群落の齢構造の解析に用いた試料

結果をまとめると Table 22 及び下記のとおりとなる。

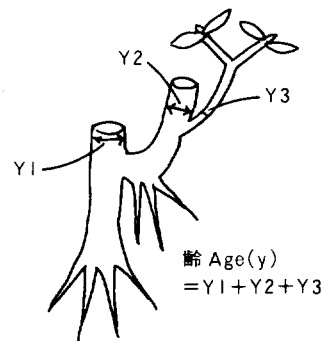


Fig. 32. Seedling coppice の齢の推定方法 (清野, 1986 を一部改変)

Method of age estimation for seedling coppice (KIYONO, 1986 revised).

Table 21. ヒノキ人工林における下層木本植物各種の伏条更新個体の生存率 (清野, 1987a)
Survival rate of natural layering trees in understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO, 1987a).

種 Species	生存個体数 Number of living trees			生存率 Survival rate (%/y)
	1981	1982	1983	
<i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ)	15	13	11	86
<i>Rhododendron kaempferi</i> (ヤマツツジ)	7	7	7	100
<i>Callicarpa mollis</i> (ヤブムラサキ)	5	5	3	77
<i>Helwingia japonica</i> (ハナイカダ)	5	4	4	89
<i>Rhus trichocarpa</i> (ヤマウルシ)	3	3	1	58
<i>Lindera umbellata</i> (クロモジ)	3	2	2	82
合 計 Total	38	34	28	86

Table 22. ヒノキ人工林における下層木本植物各種の諸性質と測定された齢の信頼性 (清野, 1987 b を改変)

General descriptions of tree species in understories in *Chamaecyparis obtusa* plantations and reliability of the measured age (KIYONO, 1987 a revised).

種 Species	芽鱗痕による齢の測定 Age measurement by winter bud 可 Passable: ○ 不可 Impassable: ×	年輪欠如 Lack of annual rings		Seedling coppice の頻度 Frequency of seedling coppice	伏条更新の 頻度 Frequency of natural layering	齢の信頼性 Reliability of the measured age
		I 型 Type I	II 型 Type II			
<i>Rhododendron kaempferi</i> (ヤマツツジ)	○	+ ***	- ***	低 Low	高 High	普通 Mean
<i>Helwingia japonica</i> (ハナイカダ)	○	+	-	低 Low	高 High	普通 Mean
<i>Lindera umbellata</i> (クロモジ)	○	+	-	高 High	高 High	普通 Mean
<i>Rhus trichocarpa</i> (ヤマウルシ)	○	+	-	高 High	低 Low	普通 Mean
<i>Ilex macropoda</i> (アオハダ)	○	+	-	高 High	低 Low	普通 Mean
<i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ)	×*	? ***	-	低 Low	高 High	低 Low
<i>V. erosum</i> (コバノガマズミ)	×*	?	-	低 Low	高 High	低 Low
<i>Callicarpa mollis</i> (ヤブムラサキ)	×*	?	-	高 High	高 High	低 Low
<i>C. japonica</i> (ムラサキシキブ)	×*	?	-	高 High	高 High	低 Low
<i>Zanthoxylum piperitum</i> (サンショウ)	○	-	-	0	低 Low	高 High
<i>Aucuba japonica</i> (アオキ)	○	-	-	0	低 Low	高 High
<i>Neolitsea sericea</i> (シロダモ)	○	-	+	0	低 Low	普通 Mean
<i>Quercus myrsinaefolia</i> (シラカシ)	×*	-	+	低 Low	低 Low	普通 Mean
<i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ)	×**	?	-	0	低 Low	高 High

* 年節間数が不定。Number of annual nodes is alterable.

** 芽鱗痕が不明瞭。Mark of winter bud is not clear.

*** + : 有 Exist - : なし Not exist ? : 不明 Unknown

a) ヤマツツジ, ハナイカダ, クロモジ, ヤマウルシ, アオハダ: 成長不良な個体に I 型の年輪欠如を起こす。しかし, そうした個体の幹や枝は普通細いので芽鱗痕で齢が分かる。齢の信頼性は比較的高い。

b) ガマズミ, コバノガマズミ, ムラサキシキブ, ヤブムラサキ: I 型の年輪欠如の有無は不明。しかし, その耐陰性はヤマツツジやヤマウルシと同程度であり, 成長不良な個体は年輪欠如を起こしている可能性が高い。しかもこれらの種は芽鱗痕では齢が分からない。従って齢の信頼性は低い。

c) サンショウ, アオキ: 年輪, 芽鱗痕のいずれによっても正確な齢が分かる。

d) シロダモ, シラカシ: 成長不良な稚樹は II 型の年輪欠如を起こす。シラカシはさらに幹の年節間数も不定である。従って, それらの正しい齢は分からない。ただ, 上記の落葉広葉樹に比べて耐陰性があり, 欠如は著しくないとされる。低木層個体は II 型の年輪欠如を起こさない。

e) ヒサカキ: I 型の年輪欠如の有無は不明。しかし, 耐陰性が強く II 型の年輪欠如を起こさない。年輪による齢の信頼性は高いと考えられる。

f) 幹の寿命の短い種の Seedling coppice: 個体の齢はほとんど分からない。

g) 幹の寿命の長い種の Seedling coppice: 齢を推定できる場合がある。推定齢にはかなりの誤差がある。

h) 伏条更新個体: 齢の測定はやさしいが, 齢を発根後の年数と見なすことができない。

下層植物群落の成立過程を明らかにするという目的に照らすと, b), f), h) の試料を用いるのは適当でない (清野, 1987 b)。そのため, 下層木本植物の齢構造を求める際にはガマズミ, コバノガマズミ, ヤブムラサキ, ムラサキシキブ各種とモミジイチゴ, コウヤボウキ, ヤブコウジなど個体の齢の不明な種及び全ての伏条更新個体の試料を除いた。g) についても用いるのが望ましくないことは同じである。しかし, Seedling coppice には高齢のものが多く, 試料は群落の成立過程の解析に欠かせない。そのため, 用いることにした。

3.2 下層木本植物の空間構造

材料と方法

下層木本植物の空間構造に及ぼす乾湿条件や間伐の影響を明らかにするため, 次の調査を行った。

1979~1983 年の間で 9, 10 月の時期を選び, 間伐履歴の異なる中性立地の 31 年生の 2 林分 (Nos. 15, 34) と立地及び間伐履歴の異なる 55~73 年生の 6 林分 (Nos. 16~20, 37) のそれぞれに 10 m × 10 m の方形区を設けた。そして, 区内の下層植物群落を低木層と草本層とに分け, 低木層に属する木本個体の種を判別し, 地際直径, 水平位置などを調べた。草本層に属する木本個体 (以下, 第二低木層と仮称する) は種を判別し, 地際直径だけを調べた。また, 一部の個体について樹高を測って地際直径と樹高との関係を求め, ほかの個体の地際直径から樹高を推定するのに使った。

第二低木層に属する個体の中には, 成長して低木層に加わるものがある。その頻度を明らかにするため, 1983 年 5 月に乾性立地の 73 年生林分 (No. 18) と中性立地の 67 年生林分 (No. 16) のそれぞれに 10 m × 10 m の方形区を設けた。そして, 区内の低木層個体に印をつけて 3 年間追跡し, その間に第二低木層から低木層に加わった個体数を求めた。

3.2.1 若齢林分における空間構造

[事例1] 31年生林分(中性立地): No. 34

[事例2] 31年生林分(中性立地): No. 15

無処理林分(No. 34)では、下層植物群落がきわめて乏しかった、樹高階構造は発達していなかった。木本個体のほとんどは生育不良であり、短期間に枯れていると考えられる。個体数の多い種にヤマウルシ、アオハダ、ムラサキシキブ、ナツハゼ、クロモジ、シラカシ、ガマズミがあった。

5年前に材積率8%の間伐がなされた間伐林分(No. 15)では、下層植物群落が伐根の周りに限ってやや発達していた。しかし、低木層は未発達であった。木本個体の多くは生育不良であり、短期間に枯れていると考えられる。個体数の多い種にヤマウルシ、アオハダ、ヒサカキ、ミズキ、カスミザクラがあった。

なお、中性以外の立地でも低木層が発達しないという状況は同じであり、ほかの立地の空間構造も中性立地のそれと同様と考えられる。

3.2.2 壮齢林分における空間構造

(1) 無処理林分の空間構造

[事例3] 72年生林分(乾性立地): No. 20

[事例4] 55年生林分(湿性立地): No. 37

乾性立地の林分の低木層植被率は40%である(Table 1)。樹高の階層分化は不明瞭であった(Fig. 33)。一方、湿性立地では植被率30%(Table 1)とより低いものの階層分化は明らかであった(Fig. 34)。

乾性立地の林分では低木層を常緑広葉樹のヒサカキ、シラカシが優占し、落葉広葉樹はごく少なかった。第二低木層にはシラカシ、ヒサカキ、コバノガマズミ、ヤマツツジ、ヤマウルシ、ムラサキシキブ、

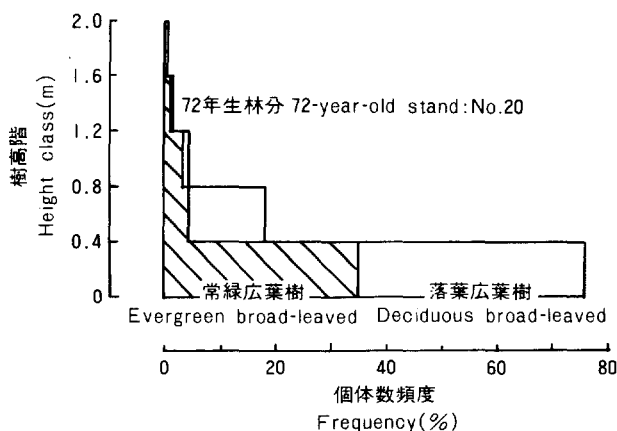


Fig. 33. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の樹高階構造(無処理林分, 乾性立地)
Height class structure of understories trees in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Control on the dry site).

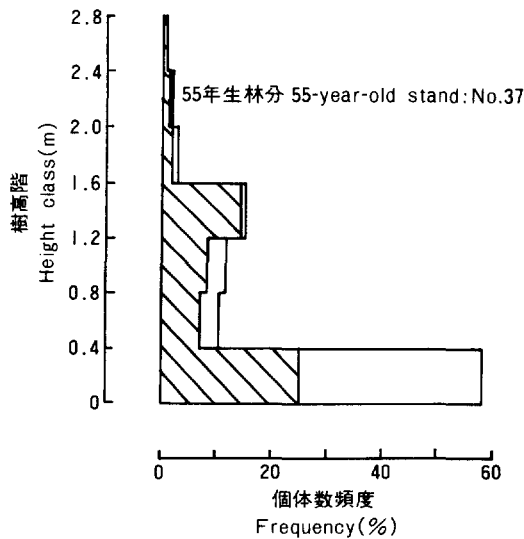


Fig. 34. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の樹高階構造（無処理林分，湿性立地）
Height class structure of understorey trees in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Control on the wet site).

図の説明は Fig. 33 と同じ。Explanation of the Fig. is same as Fig. 33.

ヤブムラサキなど各種の常緑広葉樹，落葉広葉樹が生育していた。

また，湿性立地の林分では低木層を常緑広葉樹のヒサカキ，アオキが優占し，落葉広葉樹ではヤマアジサイ，タマアジサイなどがあったが量は少なかった。第二低木層にはヒサカキ，ヤマアジサイ，タマアジサイ，ムラサキシキブなど各種の常緑広葉樹，落葉広葉樹が生育していた。

以上，無処理林分では低木層を常緑広葉樹が優占する。

(2) 間伐林分の空間構造

[事例 5] 70 年生林分（乾性立地）：No. 18

[事例 6] 70 年生林分（中性立地）：No. 17

[事例 7] 73 年生林分（湿性立地）：No. 19

[事例 8] 67 年生林分（中性立地）：No. 16

Nos. 17～19 林分には 42～47 年生のときに材積率 9% の間伐，No. 16 林分には 40 年生のときに同 20% の間伐がそれぞれなされている（Table 1）。低木層植被率は乾性立地では 23% と低い，他では高く 75～99% の範囲内にある（Table 1）。樹高の階層分化は乾性立地の林分を除き明らかである（Figs. 35～38）。

低木層の優占種は，乾性立地の林分では常緑広葉樹のヒサカキ，シラカシと落葉広葉樹のヤマツツジ，中性立地の No. 17 林分では常緑広葉樹のシロダモ，ヒサカキと落葉広葉樹のヤブムラサキ，クロモジ，同 No. 16 林分では常緑広葉樹のシロダモ，アオキ，ヒサカキと落葉広葉樹のアカシデ，ヤマウルシ，

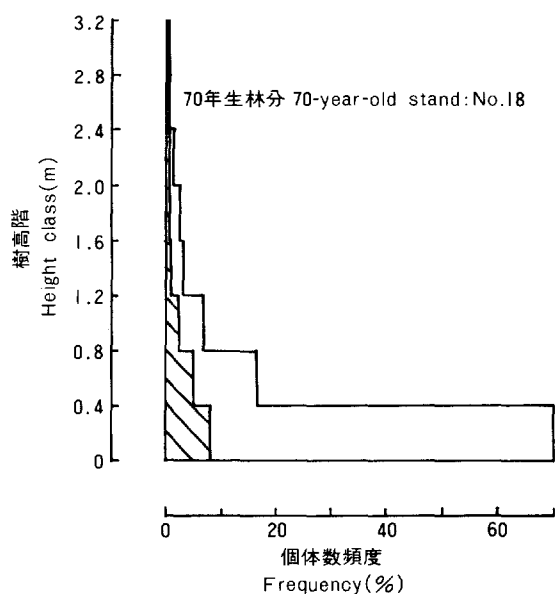


Fig. 35. 壮齢のヒノキ人工林における
下層木本植物の樹高階構造
(間伐林分, 乾性立地)

Height class structure of trees in
understories in an elder stand of
Chamaecyparis obtusa (Thinned
stand on the dry site).

図の説明は Fig. 33 と同じ。Explanation of
the Fig. is same as Fig. 33.

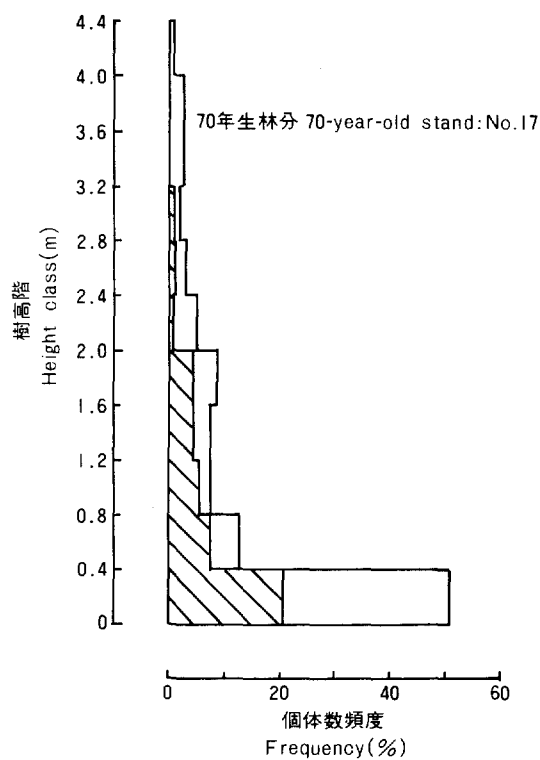


Fig. 36. 壮齢のヒノキ人工林における下層木
本植物の樹高階構造 (間伐林分, 中
性立地)

Height class structure of trees in
understories in an elder stand of
Chamaecyparis obtusa (Thinned
stand on the moderate site).

図の説明は Fig. 33 と同じ。Explanation of the Fig.
is same as Fig. 33.

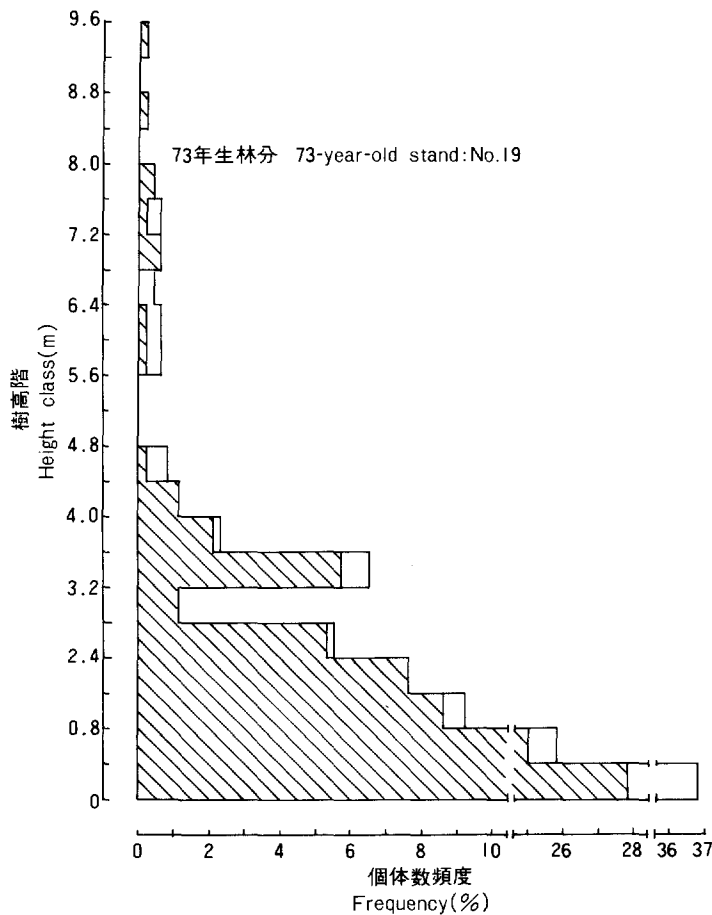


Fig. 37. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の樹高階構造 (間伐林分, 湿性立地)
Height class structure of trees in understories in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Thinned stand on the wet site).

図の説明は Fig. 33 と同じ。Explanation of the Fig. is same as Fig. 33.

クロモジ, ヤブムラサキ, ムラサキシキブであった。湿性立地の林分では常緑広葉樹のシロダモ, アオキ, ヒサカキと落葉広葉樹のゴンズイ, ミズキ, ヤブムラサキが優占種となっていた。また, 各林分の第二低木層には低木層を構成する常緑広葉樹, 落葉広葉樹各種の小個体が生育していた。

以上, 間伐履歴を持つ林分では低木層がよく発達し, 多数の落葉広葉樹が混生する。

なお, 湿性な立地ほど樹高が高く階層の分化も明らかであった。

3.3 下層木本植物の齢構造

材料と方法

下層木本植物の齢構造に及ぼす乾湿条件や間伐の影響を明らかにするため, 1979~1983 年の間で 9, 10 月の時期を選び, 下層木本植物の空間構造を調べたのと同じ林分 (Nos. 15~20, 34, 37) のそれぞれ

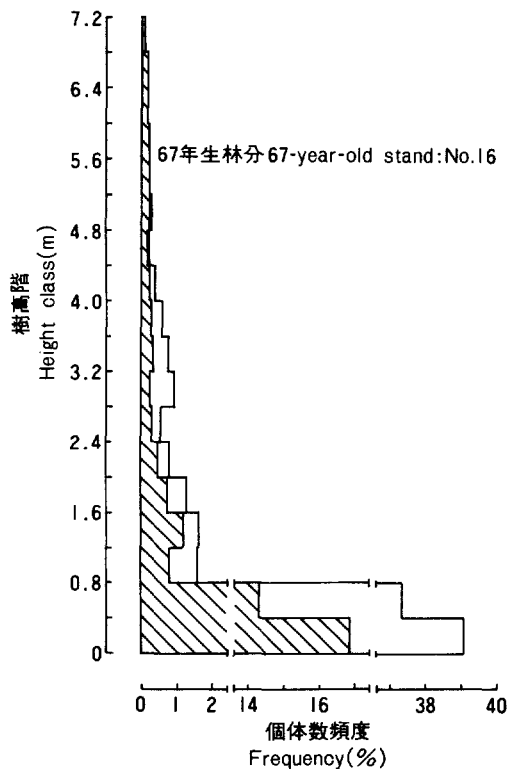


Fig. 38. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の樹高階構造（間伐林分，中性立地）
Height class structure of trees in understories in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Thinned stand on the moderate site).

図の説明は Fig. 33 と同じ。Explanation of the Fig. is same as Fig. 33.

れに 10 m×10 m の方形区を設けた。そして，区内の下層木本個体の大半を低木層と第二低木層別に掘り採り，あるいは伐倒し，個体の齢を調べた。群落の齢構造を求める際は，前述の基準に従って試料を取捨選択した。

3.3.1 若齢林分における齢構造

[事例 1] 31 年生林分（中性立地）：No. 34

[事例 2] 31 年生林分（中性立地）：No. 15

無処理林分（No. 34）では，下層の木本個体の齢は 1～33 年生の範囲内にあった（Fig. 39）。成林は 10 年生のころと考えられるので，21 年生以上の個体は成林以前に発生していたことになる。その大半は幹代わりを繰り返し，Fig. 32 中の個体に似た形態をしていた。

一方，20 年生以下の個体は閉鎖林内で発生したものである。その齢構造は，1 年生個体が最も多く齢が増すに従い個体数が減るという L 型分布のものであった。個体が新たに発生しても長期間生き残るものは少ない。

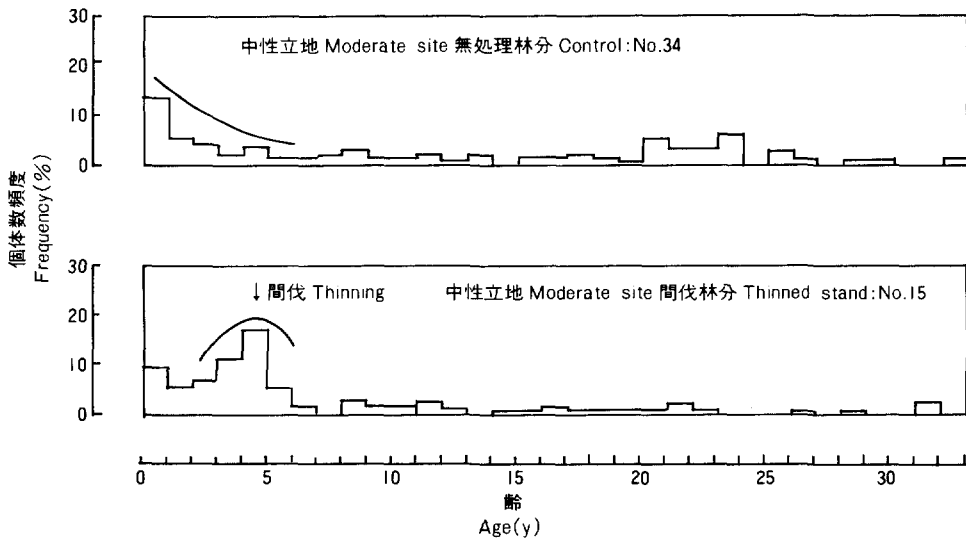


Fig. 39. 若齢のヒノキ人工林における下層木本植物の齢構造
Age structure of trees in understories in a young stand of *Chamaecyparis obtusa*.

No. 15 林分には5年前に材積率8%の間伐がなされた (Table 1)。しかし、調査時に林冠は閉鎖しており、林内環境は無処理林分と同様な状態にあった。

下層の木本個体の齢は1~32年生の範囲内にあった (Fig. 39)。無処理林分と異なり、間伐の直後に発生した4, 5年生の個体が多数見られた。

なお、中性以外の立地でも低木層が発達しないという状況は同じであり、ほかの立地の齢構造も中性立地のそれと同様と考えられる。

3.3.2 壮齢林分における齢構造

(1) 無処理林分の齢構造

[事例3] 72年生林分 (乾性立地): No. 20

[事例4] 55年生林分 (湿性立地): No. 37

下層の木本個体の齢は72年生林分では1~40年生、55年生林分では1~25年生の範囲内にあった。成林は10年生のころと考えられるので、成林以前に発生した個体はない。どの林分も低木層個体の齢構造は正規分布、第二低木層個体のそれはL型分布、全個体のそれはL型分布であった (Figs. 40, 41)。

低木層個体の発生数が増え、低木層の発達がはじまったのは72年生林分では約25年前、55年生林分では約15年前、すなわち、それぞれ47, 40年生のころである。

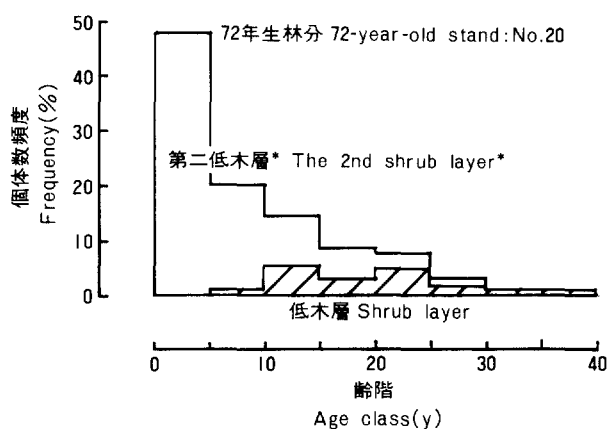


Fig. 40. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の齢階構造（無処理林分，乾性立地）
Age class structure of trees in understories in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Control on the dry site).

* 草本層中の小さな木本個体からなる。
Composed of small trees in the herb layer.

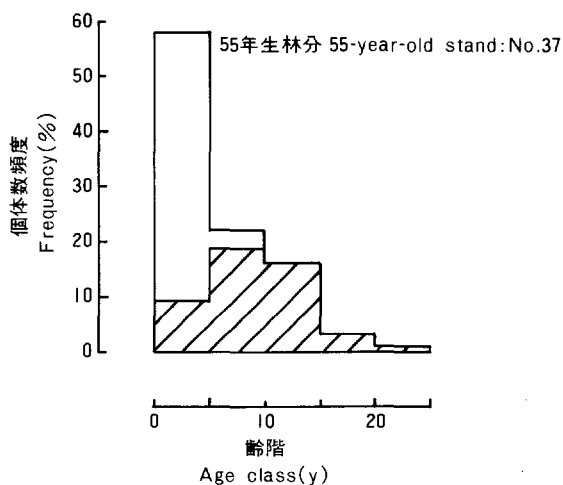


Fig. 41. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の齢階構造（無処理林分，湿性立地）
Age class structure of trees in understories in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Control on the wet site).

図の説明は Fig. 40 と同じ。
Explanation of the Fig. is same as Fig. 40.

(2) 間伐林分の齢構造

[事例 5] 70 年生林分 (乾性立地): No. 18

[事例 6] 70 年生林分 (中性立地): No. 17

[事例 7] 73 年生林分 (湿性立地): No. 19

[事例 8] 67 年生林分 (中性立地): No. 16

Nos. 17~19 林分には 42~47 年生のときに材積率 9% の間伐, No. 16 林分には 40 年生のときに同 20% の間伐がそれぞれなされている (Table 1)。どの林分でも下層の木本個体の齢は 1~45 年生の範囲内にあった。また, 低木層個体の齢構造は正規分布, 第二低木層個体のそれは L 型分布, 全個体では正規分布と L 型分布を合成した形をしていた (Figs. 42, 43)。

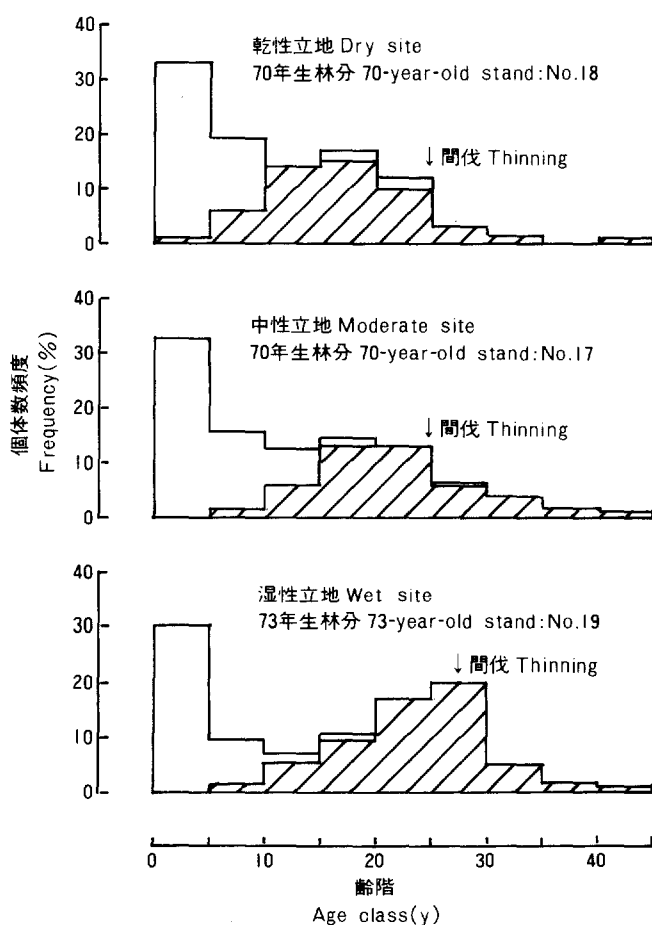


Fig. 42. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の齢階構造 (間伐林分, 乾性~湿性立地)
Age class structure of trees in understories in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Thinned stands on the dry ~ wet site).

図の説明は Fig. 40 と同じ。Explanation of the Fig. is same as Fig. 40.

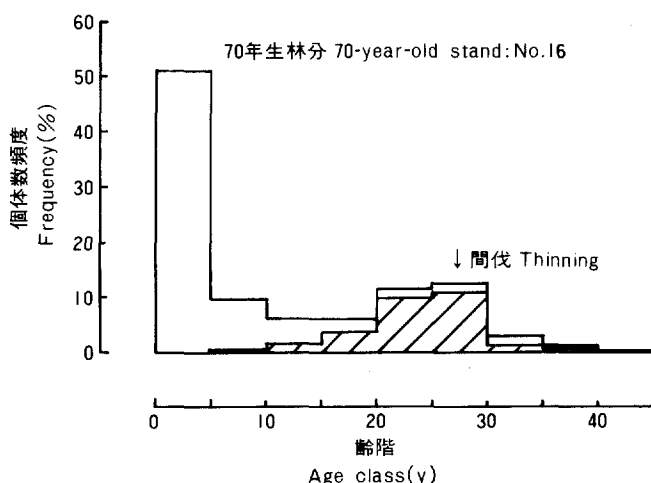


Fig. 43. 壮齢のヒノキ人工林における下層木本植物の年齢構造（間伐林分，中性立地）
Age class structure of trees in understories in an elder stand of *Chamaecyparis obtusa* (Thinned stand on the moderate site).

図の説明は Fig. 40 と同じ。Explanation of the Fig. is same as Fig. 40.

低木層個体の発生数が増え，低木層の発達のはじまったのは Nos. 18, 17, 19, 16 林分でそれぞれ 30, 30, 35, 30 年前，すなわち，それぞれ 40, 40, 38, 37 年生のころである。

次に，低木層個体の発生と間伐時期との関係を求めた。Nos. 19, 16 林分では，発生数の最も多い時期（ともに 25～30 年前）と間伐時期（それぞれ 31～26 年前，27 年前）とがほぼ一致した。しかし，間伐が無処理林分でも発生数の増えるところに行われているので，発生数の増えた原因が林齢と間伐のいずれにあるのかは分からない。ただおそらく原因は双方にあらう。Nos. 19, 16 林分ではそれぞれ 38, 37 年生のころから将来低木層を構成する個体の発生数が増えはじめ，それぞれ 42～47, 40 年生時に行われた間伐が増加を促したと推定される。

一方，Nos. 18, 17 林分では，低木層個体の発生数の最も多い時期が間伐より後に現れた。また，Nos. 19, 16 に比べて低木層個体と第二低木層個体の年齢分布範囲の分離が不明瞭であった。この理由は以下に述べるとおり，低木層植被率の違いにあると考えられる。

(3) 乾湿条件が年齢構造に及ぼす影響

乾性立地の 73 年生林分 (No. 18) では第二低木層から低木層に新たに加わった個体が $1.4 \text{ no./100 m}^2 \cdot \text{y}$ (低木層個体数の 6.5%/y) あった。しかし，中性立地の 70 年生林分 (No. 16) では認められなかった。

このように，低木層の発達が悪い (No. 18 林分の低木層植被率 23%) と，新たに発生した個体の中には低木層に加わり長期間生きるものが現れる。Nos. 18, 17 林分は低木層植被率が低い（それぞれ 23, 75%）ので，その高い Nos. 19, 16 林分（それぞれ 90, 99%）とは異なって低木層個体の発生

数の多い時期が間伐より後に現れ、低木層個体と第二低木層個体の齢分布範囲の分離が不明瞭となるのであろう。

3.4 考 察

下層木本植物の樹高階構造を解析した結果、若齢林分では階層が発達しない、壮齢林分ではそれが発達し間伐によって促される、発達は湿性な立地で著しい、などの諸点が明らかにされた。また、低木層で常緑広葉樹が優占する傾向は無処理林分の著しい特徴であり、間伐履歴を持つ林分には落葉広葉樹が多数混生していた。無処理林分では草本層の受ける相対照度が1~2% (Fig. 6) しかなく、耐陰性の低い多くの落葉広葉樹は十分な成長をすることができない。

下層木本植物の齢構造を解析した結果、若齢林分では個体は発生するが長期間生きるものは少ない、壮齢林分では47あるいは40年生ごろから長期間生きる個体が増え間伐はおそらくその傾向を促す、などの諸点が明らかにされた。これは2章で明らかにした低木層の植被率や高さの挙動、すなわち、若齢林分では低木層が発達しない、40年生を過ぎるころから発達して間伐によって促される、などの諸点を裏付けるものである。

ところで、低木層植被率に対し草本層植被率は凸な曲線で表される関係にあった (Fig. 11)。低木層植被率の増加を時間の経過に読みかえると、若齢林分では低木層植被率、草本層植被率ともに低いが、低木層の発達がはじまると草本層植被率も高くなり、さらに、低木層植被率が100%近くまで高くなると草本層は再び衰え植被率が低くなる、と見なせる。

低木層と第二低木層との間にもこれに似た関係がある。また、こうした空間構造の変化と齢構造の変化との間には一定の関係が認められる。諸関係の模式を Figs. 44, 45 に示した。A 点は低木層、第二低木層ともに未発達の状態を表す。新たな個体は発生するものの短期間に枯れ、長く生きる個体は現れない。齢構造は L 型となる (Fig. 45 の A)。B 点は第二低木層の最も発達した状態を表す。個体の中に低木層をなして長く生きるものが現れ、その数は増えつつある。齢構造は正規分布と L 型分布とを連続的につないだ形になる (Fig. 45 の B)。C 点は低木層が最も発達して第二低木層の衰えた状態を表す。ある時期に発生した個体が低木層をなして長く生き、それより後に発生した個体は枯れやすい。齢構造は引き続き正規分布と L 型分布の合成であるが、両分布は不連続となる (Fig. 45 の C)。

前述のとおり下層の状態が A 点から B 点へ移るのは無処理林分では40年生のころである。間伐は移行を促す。

3.5 摘 要

(1) 下層木本植物各種について芽鱗痕による齢測

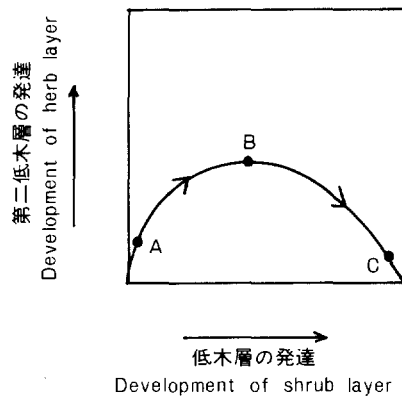


Fig. 44. ヒノキ人工林における低木層と第二低木層の発達模式

Schematic development of shrub layer and herb layer in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

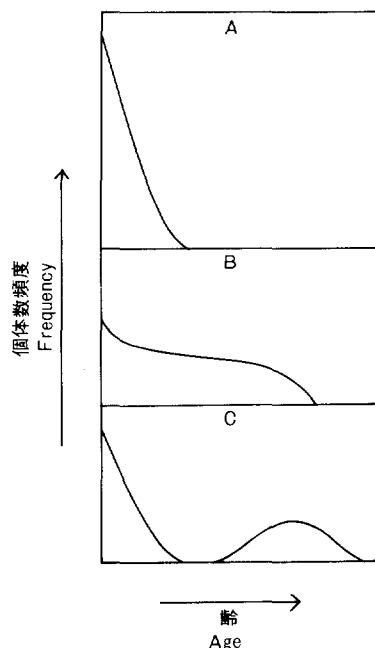


Fig. 45. ヒノキ人工林における低木層と第二低木層の発達に伴う年齢構造の変化模式

Schematic changes of age structure with the development of shrub layer and herb layer in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

定の可否、年輪欠如の発生の有無、Seedling coppice や伏条更新個体の挙動などを調べ、正しい年齢や発生時期を知るのが難しい種及び生育状態を明らかにした。

(2) 下層木本植物の樹高階構造を調べた結果、若齢林分では階層が発達しない、壮齢林分ではそれが発達し間伐によって促される、発達は湿性な立地で著しい、などの諸点が明らかにされた。また、低木層で常緑広葉樹が優占する傾向は無処理林分の著しい特徴であった。間伐履歴を持つ林分には落葉広葉樹が多数混生していた。

(3) 下層木本植物の年齢構造を解析した結果、若齢林分では個体は発生するが長く生きるものは少ない、壮齢林分では47あるいは40年生ころから長く生きる個体が増え間伐は恐らくその傾向を促す、などの諸点が明らかにされた。これによって2章で明らかにした低木層の植被率や高さの挙動を裏付けることができた。

(4) 低木層及び第二低木層の分化と年齢構造の変化との間には一定の関係が認められる。諸関係の模式を示し、林齢に沿った挙動を概説した。

4 下層植物群落の動態モデル

光条件は植被率や高さ、葉量、種数など下層植物群落の多くの形質を限定する、下層植物群落の生育の第一要因である。そしてこれについて乾湿条件も下層植物群落に影響力を持つ。光は林冠構造を変えてその状態を容易に変えることができる。そこで、光条件と乾湿条件を要因とする下層植物群落の動態モデル（清野・藤森, 1987; 清野, 1987c を一部改称）の作成を試みた。

Fig. 46 は本モデルの概要を示す。乾湿条件と林齢とから求められる樹高成長、林分密度及び樹冠長の三者をパラメータに林内相対照度を推定し、ついでこれと乾湿条件とから下層植物群落の高さと低木層及び草本層の植被率を推定する。下層植物群落の状態を変えるため人間がヒノキ林に対して行い得ることには、間伐で林分密度を変える、枝打で樹冠長を変える、下層植物群落を下刈する、などがある。

4.1 林内相対照度の推定

材料と方法

林内相対照度を推定するため、次の調査解析を行った。

林分内の単木葉量の頻度分布を明らかにするため、1982～1984年の間で11月から翌年3月までの時

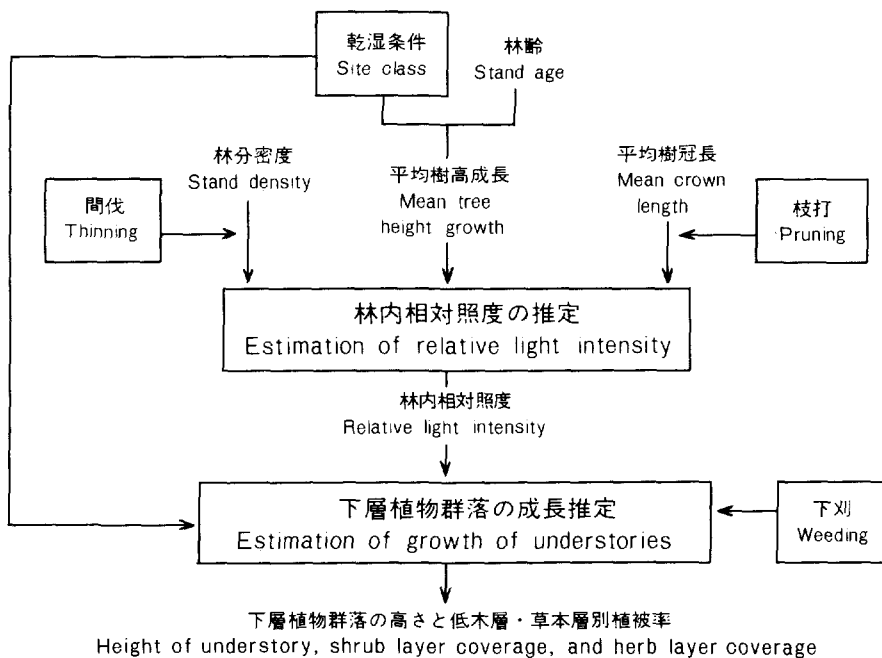


Fig. 46. 下層植物群落の動態モデルの概要
Scheme of the dynamic model of understories.
本文参照。See the text.

期を選び、中性立地の16年生（No. 11）と31年生（No. 15）及び73年生（No. 17）の各林分に約20 m×20 mの方形区を設けた。そして、区内の個体の胸高直径の頻度分布に合わせて9～10個体のサンプル木を選んで伐倒し、樹冠層別に葉量を測った。さらに、各林分でサンプル木について得られた胸高直径と葉量との相対成長関係を利用して区内のほかの個体の葉量を推定した。重量は85℃で十分に乾かした後の絶乾重で表した。

樹冠形を明らかにするため、上記3林分で平均葉量を持つ個体を1本ずつ選び、梢端からの距離と樹冠半径との関係を求めた。

樹冠頂角（後述）と樹高成長との関係を明らかにするため、1982～1984年の間で11月から翌年3月までの時期を選び、地位や林齢、林分密度、保育履歴の異なる11林分（茨城県内から上記3林分を含む9林分、神奈川県内から2林分）でそれぞれ9～10数個体の樹冠頂角と年樹高成長量を測った。

林冠の閉鎖程度と林冠木の諸量との関係を明らかにするため、1981年11月に中性立地の30年生林分（No. 15）に20 m×20 mの方形区を2区設け、うち1区には1982年と1984年の10～12月にそれぞれ葉量の24、25%を奪う間伐を行った。ほかの1区には1回目の間伐だけを行った。間伐時にそれぞれ10個体のサンプル木を選び、胸高直径と樹高、枝下直径、葉量と枝量、幹量を測った。1回目の間伐のときは根系量も調べた（荻住・寺田、1984）。また、1981年から1986年まで毎年10～12月に各

区内の個体の胸高直径と樹高、枝下直径、樹冠長を測った。そして、サンプル木について得られた胸高直径×樹高と幹量あるいは根系量、枝下直径と葉量あるいは枝量の各相対成長関係を用いて、区内の林冠木の諸量の毎年の値を推定した。一方、受け口が 50 cm×50 cm のリタートラップを 1 区当たり 12 個用いて、1981 年から 1986 年まで毎月 1 回各区の脱落量を調べた。また、2 回の間伐を行った区で 6 個体を選び 1982 年 1 月に枯枝を切り落して枯枝現存量を調べた。さらに翌年から 1987 年まで毎年 1 月に新生枯枝を切り落として重さを測り、年枝枯死量とした。純生産量は下式によって求めた。

$$P_n = Y_t - Y_{t-1} + Y_{\text{枯枝 } t} - Y_{\text{枯枝 } t-1} + L_{t-1 \sim t}$$

ただし、 P_n : 純生産量, Y : 現存量, $Y_{\text{枯枝}}$: 枯枝現存量, $t-1$: t の 1 年前, $L_{t-1 \sim t}$: $t-1$ と t 間の脱落量。

No. 15 林分では 10 月から翌年 2 月までの脱落量が多く（落葉量については Fig. 12 参照）、また、葉の成長は 5～9 月、幹の肥大成長は 4～11 月にそれぞれ盛んであった（清野ほか, 1984 b）。そのため、純生産量を求めるときの年次の境は脱落量の多い時期や成長の盛んな時期を避けて 3 月末とした。

なお、林冠木の諸量のうち測定項目によっては欠測年がある。

枝下高の挙動を明らかにするため、1983 年 3 月に中性立地の 16 年生林分（No. 11）に約 20 m×20 m の方形区四つを設け、うち 3 区について葉量の 73% を奪う間伐+枝打、同 55% の枝打、同 40% の間伐の各処理を行った。また、1981 年 11 月に中性立地の 30 年生林分（No. 15）に 20 m×20 m の方形区を設け、1982 年 10～12 月に葉量の 24% を奪う間伐を行った。そして、No. 11 林分の 4 区では設定から 2 年間、No. 15 林分では同 4 年間、区内の個体について樹高と枝下高を測った。枝下高は樹冠の山側と谷側とでは異なる（後述）ので、双方を測って平均した。

林冠の開鎖程度と林内相対照度（RLIa）との関係を明らかにするため、1983 年 3 月に中性立地の 16 年生林分（No. 11）に約 20 m×20 m の方形区四つを設け、うち 3 区について葉量の 73% を奪う間伐+枝打、同 55% の枝打、同 40% の間伐の各処理を行った。ついで、1981 年 11 月に中性立地の 30 年生林分（No. 15）に 20 m×20 m の方形区を設け、1982 年と 1984 年の 10～12 月にそれぞれ葉量の 24、25% を奪う間伐を行った。また、1981 年 11 月に中性立地の 30 年生林分（No. 34）に 20 m×20 m の方形区を設けた。さらに、1979 年 10 月に中性立地の 70 年生林分（No. 17）に 20 m×20 m の方形区を 2 区設け、うち 1 区に葉量の 47% を奪う間伐+枝打を行った。そして、各区の林内相対照度（RLIa）を No. 11 林分の 4 区では設定から 2 年間、No. 15 林分では同 3 年間、No. 34 林分では同 1 年間、No. 17 林分の 2 区では同 6 年間毎年 1 回調べた。ただし、No. 17 林分の無処理区では 2～5 年目を欠測した。

照度は測器に東京光学光電池式照度計 SPI-71 形あるいはミノルタデジタル照度計 T-1 を用い、9 月の曇天日の正午ごろに低木層の上で測った。1 回の測定における測定点の繰返しは 50～100 回である。

4. 1. 1 林内日射量の制御と関連する林内相対照度の表示方法

林内相対照度（RLIa）自体を制御するために応用されるその表示方法は、

a) 林冠量との関係を適切に表し、

b) 間伐や枝打が林冠量に及ぼす影響を推定でき、

c) 間伐や枝打後の林冠量の経年変化を推定できる、という三つの要件を備えるべきである。一方、これまでに複層林施業などに関連して4種の表示方法、すなわち、[1] 全天空写真を用いるもの、[2] 指標植物によるもの、[3] 幹の量を基にするもの、[4] 樹冠構造に基づくもの、が提案されている（複層林施業班、1983）が、a)～c) 3要件を満たすのは[4] だけである（Table 23）。

[1] は全天空写真から求めた林冠空隙量を林内相対照度の指標とするものである。これはb), c) を満たせない。[2] には地被植物あるいは特定種の有無、樹下植栽木の樹高成長量などを指標とするものがある。これもb), c) を満たせない。[3] には林分密度管理図の R_y 、相対立木密度、相対幹距、幹の胸高断面積合計などがある。いずれも単位土地面積当たりの幹量を林分密度、平均直径、平均樹高のうちの一部の組み合わせで表した値である。幹量と林冠量とは巨視的には比例するもののあくまで目安を与えるに過ぎない。例えば、成長の盛んな生き枝まで落とす積極的枝打（松下、1953）がなされて間もない樹冠の縮小した林分と無枝打の林分とでは、幹の量は同じでも林冠量は全く異なる。従って、[3] は枝打林分に当てはめられない。そして、成林以前の新生林分を比べる場合や、閉鎖程度の一様な林分群に強度を違えた間伐を行って互いを比べる場合など、林冠量の異なる理由が林分密度の違いにある場合に限ってa), b) を満足する。c) は満たせない。一方、[4] は林冠量を直接扱う。間伐や枝打の影響も明らかである。また、時間軸に沿った樹冠の成長法則に基づいて林冠量の経時変化を予測できる。従って、唯一a)～c) 3要件を満たす可能性がある。

Table 23. 林内日射量の制御のための林内相対照度の表示方法とその要件の具備
Indices of relative light intensity for control of sunlight in a stand and their necessary conditions.

林内相対照度の表示方法 Indices of relative light intensity in a stand	要件の具備 Necessary conditions		
	a)*	b)*	c)*
[1] 全天空写真を用いるもの By a photograph through a fisheye lens	○**	×**	×
[2] 指標植物によるもの By index plants	○	×	×
[3] 幹の量を基にするもの By mass of stems	△**	△	×
[4] 樹冠構造に基づくもの By crown architecture	○	○	○

* a) 指数は林冠量と密接な関係にある。

The index has close relation to canopy mass.

b) 間伐や枝打が林冠量に及ぼす影響を指数によって推定できる。

Influence of thinning and pruning on the canopy mass can be estimated by the index.

c) 間伐や枝打後の林冠量の経年変化を指数によって推定できる。

Annual changes in the canopy mass after thinning and pruning can be estimated by the index.

**○：具備 ×：具備しない △：条件を限って具備
Having Not having Partially having

しかし、[4] に分類される適切な尺度は開発されていない。例えば、安藤・宮本 (1971) の林内相対照度の推定式は樹冠長のパラメータを持つが、同時に幹の量（胸高断面積合計）のパラメータを持つ。[3] と [4] の折衷であり上記 [3] の欠点を包含している。このように適切な表示方法を欠くために、間伐や枝打後の林内相対照度の経年変化を推定することや、希望の状態を達成、保持する保育方法（間伐、枝打あるいは両者の組み合わせの強度と頻度）を検討することはほとんど不可能である。現状では経験に頼らざるを得ない。従って、a)～c) の要件を満たす樹冠構造に基づく新たな表示方法を開発する必要がある。

間伐と枝打はそれによって幹の成長や林内環境を変えることのできる代表的な保育手段である。その主眼は樹冠の生育空間量の調節による樹冠あるいは林冠の成長の誘導であり（根系の量や機能の調節の意味もあるが、効果を評価するのは難しいのでここでは考えないことにする）、この点に関して間伐と

枝打は類似の性格を持つ（清野ほか, 1983）。従って、樹冠構造に基づく表示方法を通して両者を総合することができる。

幹の成長制御や林内環境の制御など、種々の目的を持った林冠の保育をここでは樹冠管理と呼ぶことにする。樹冠管理にとって間伐（ひいては密度管理）と枝打は希望の樹冠・林冠の形質を保つ具体的手段である。密度管理と枝打は互いに代わり得るので、樹冠管理の必要に従い造林技術上の難易度やほかの社会的経済的要請などに応じて、手段の任意の組み合わせを選べる場合がある。

4.1.2 林冠の閉鎖程度の表示 —— 林冠閉鎖線

(1) 林冠構造のモデル

林冠諸量を平均葉量を持つ木の樹冠諸量と林分密度との積で表した。

16 と 31 あるいは 73 年生各林分の胸高直径の度数分布 (Fig. 47) は、いずれも正規分布に近かった。また、単木葉量の度数分布 (Fig. 48) は 16 と 31 年生林分では正規分布に近いといえたが、73 年生林分では L 型分布であった。十分に混んだ林では胸高直径の度数分布は L 型分布になる（依田, 1971）。調べた 3 林分も十分に混んでいたが、16 と 31 年生林分では調べる数年前に除伐が行われ小さな個体が除かれていたので、正規分布になったと考えられる。73 年生林分では 42～47 年生時に間伐が

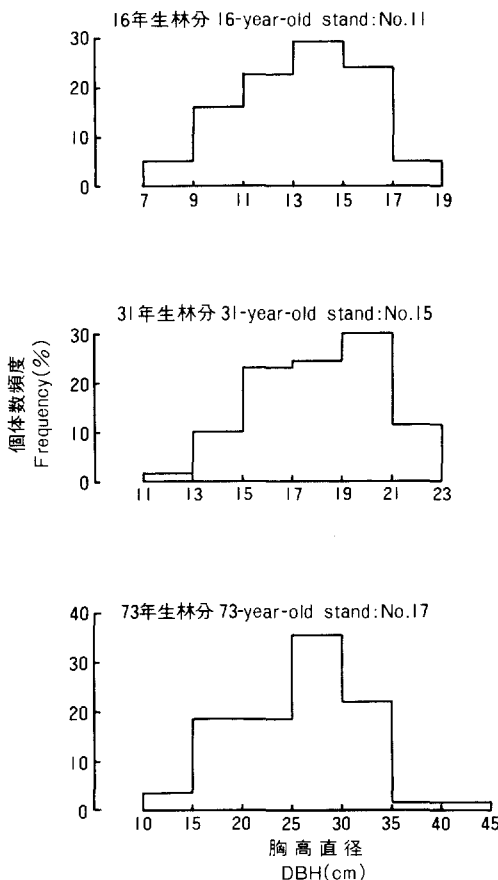


Fig. 47. ヒノキ人工林におけるヒノキの胸高直径の度数分布

DBH class structure of *Chamaecyparis obtusa* trees in *C. obtusa* plantations.

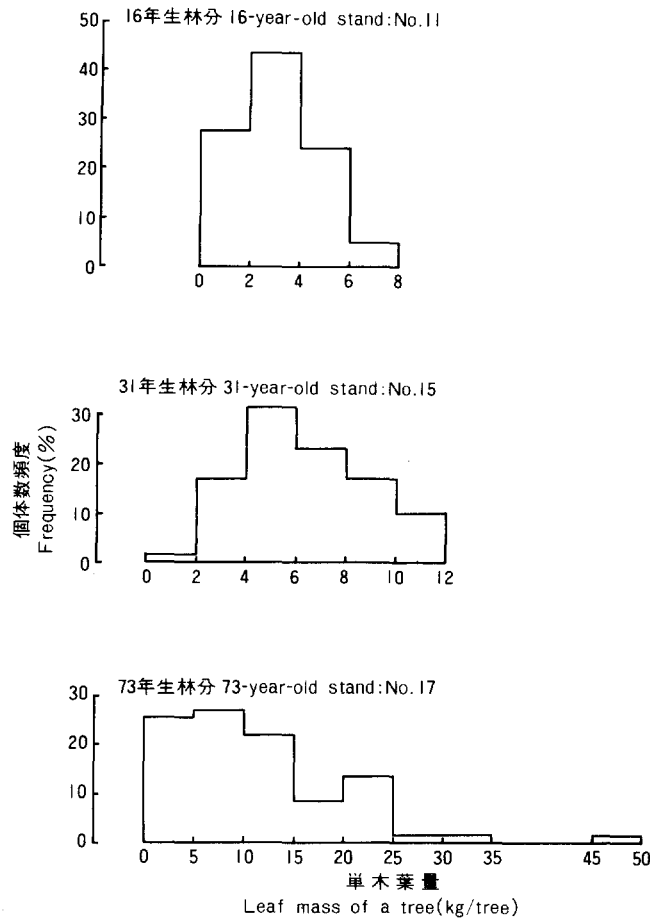


Fig. 48. ヒノキ人工林におけるヒノキの単木葉量の度数分布
Leaf mass class structure of *Chamaecyparis obtusa* trees in *C. obtusa* plantations.

行われて以来そうした人為はないが、胸高直径にまだ L 型分布化の傾向が見られないのは、幹が寿命の長く回転の遅い器官であるので、間伐の影響が依然残っているためと考えられる。

平均葉量を持つ木は 16 と 31 年生林分では平均胸高直径の木にほぼ一致し、73 年生林分では平均胸高直径より太い木であった。

上記 3 林分それぞれの平均葉量を持つ木の樹冠半径と梢端からの距離との関係 (Fig. 49) によれば、樹冠形のモデルは Fig. 50 中で陽樹冠、陰樹冠の組み合わせとして示した方 (破線) が実際に近い。しかし、以下の解析をやさしくするため、より単純な円錐形 (同図中の実線の形) で表した。その結果、樹冠形は樹冠頂角 ($2P, ^\circ$) と樹冠基底面積 (S', m^2 ; 閉鎖林分では占有面積 (S, m^2) に等しい)、樹冠長 (CL, m) のうちの任意の二つで表せる。3 者の関係は下式

$$CL = 0.56 S'^{0.5} (\tan P)^{-1} \dots\dots\dots (14)$$

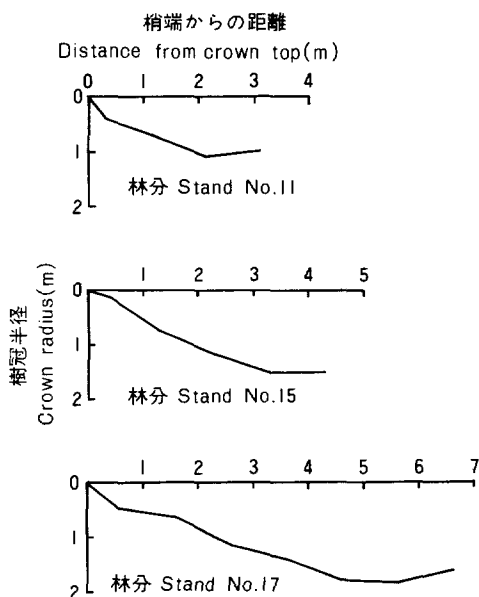


Fig. 49. 平均葉量を持つヒノキの樹冠半径と梢端からの距離との関係

Crown radius in relation to distance from crown top in *Chamaecyparis obtusa* trees with the mean leaf mass.

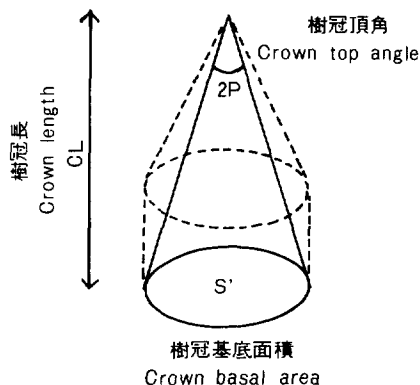


Fig. 50. ヒノキの樹冠形の模型
Model of crown shape of *Chamaecyparis obtusa*.

で表され、CL は P が小さく S' が大きいほど長い。CL は樹高 (H, m)、枝下高 (HB, m) と

$$CL = H - HB$$

S は林分密度 (ρ , no./ha) と

$$S = 10\,000/\rho$$

の関係にある。また、林分平均の P は、その林分の年平均樹高成長量 (HI, m/y) とかわかりが深く、次の経験式が成り立つ。

$$\tan P = A HI^{-B} \quad \dots\dots\dots (15)$$

ただし、A, B は最小自乗法で求めた常数で、それぞれ 0.1943, 0.1563 ($r^2=0.89^{**}$)。

(15) 式の成立に林分密度 (Fig. 51) や保育履歴 (Fig. 52) は無関係であった。もっとも、きわめて強い枝打 (一度に樹冠長の 1/2 を打ち上げ、葉量の 1/2 を奪う) を行って間もない未閉鎖の 2 林分 (Figs. 51~54 中の破線内) の傾向はほかと異なっていた。しかし、通常強度の枝打履歴のある閉鎖林分の傾向はほかと同様であったので、ここでは 2 林分を例外として除き A, B を求めた。地位あるいは林齢の異なる林分に対しても (15) 式を当てはめることができる (Figs. 53, 54)。

(15) 式によれば、樹高成長量が小さいと樹冠頂角は大きくなり、樹冠は頭の丸い、ひしゃげた形になる。これは高齢林分や地位の低い林分で観察される事実と一致する。林齢が増す、あるいは地位が下

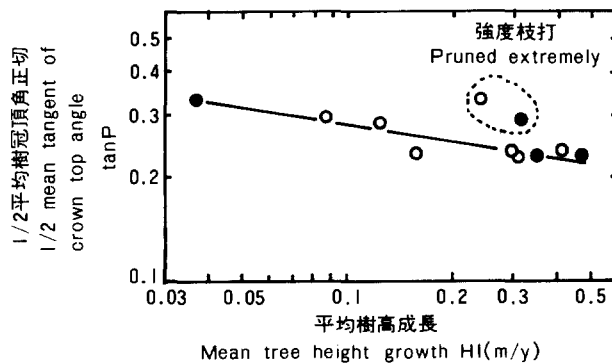


Fig. 51. ヒノキ人工林における林分密度別の平均樹高成長と1/2平均樹冠頂角正切の関係
1/2 mean tangent of crown top angle in relation to mean height growth and stand density in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分密度 Stand density ρ (no./ha)

● : $\rho \geq 3000$ ○ : $\rho < 3000$.

破線で囲まれているのは極度に枝打されてから1ないし2年目の未閉鎖林分。式の常数を求めるのに使わなかった。

Stands circled by broken line are not closed after the extreme pruning 1 year or 2 years before and excepted in the calculation for constants of the equation.

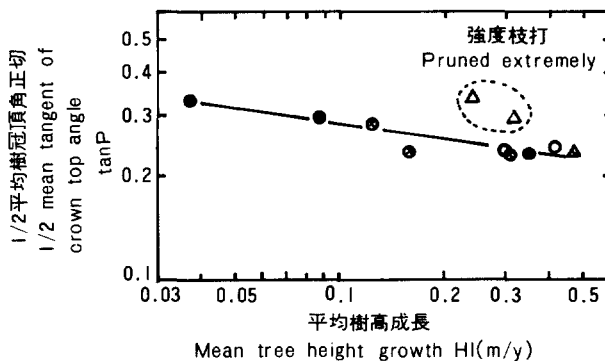


Fig. 52. ヒノキ人工林における保育履歴別の平均樹高成長と1/2平均樹冠頂角正切の関係
1/2 mean tangent of crown top angle in relation to mean height growth and a history of tending in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

○ : 間伐直後と2年目の未閉鎖林分

Not closed after the thinning just or 2 years before

△ : 同枝打未閉鎖林分

Not closed after the pruning 1 year or 2 years before

● : 無処理林分

⊗ : 間伐履歴を持つ閉鎖林分

△ : 同枝打閉鎖林分

Control

Closed after thinning

Closed after pruning

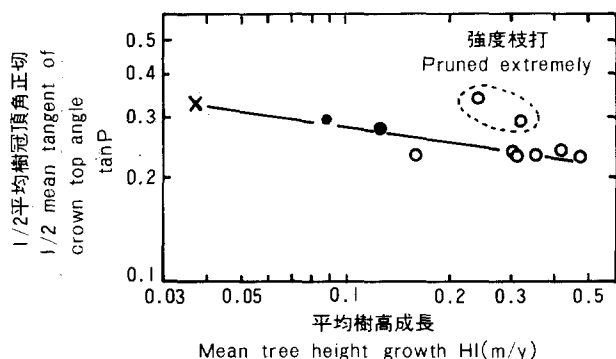


Fig. 53. ヒノキ人工林における地位別の平均樹高成長と 1/2 平均樹冠頂角正切の関係
1/2 mean tangent of crown top angle in relation to mean height growth and site class in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

○ : 1~2 等地 ● : 3 等地 × : 等外地
1st ~ 2nd class 3rd class Below 3rd class

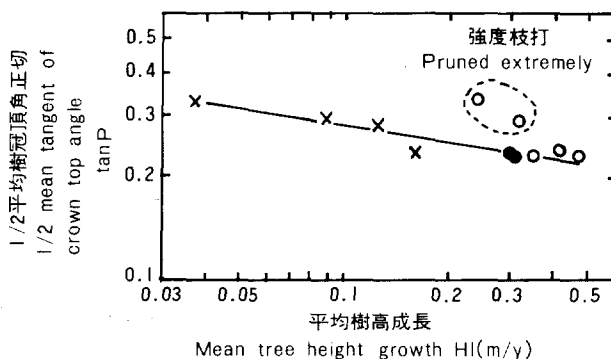


Fig. 54. ヒノキ人工林における林齢別の平均樹高成長と 1/2 平均樹冠頂角正切の関係
1/2 mean tangent of crown top angle in relation to mean height growth and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

○ : 17 年生林分 ● : 同 31 年生 × : 同 60~73 年生
17-year-old stand 31-year-old stand 60 ~ 73-year-old stand

がるに従い一般に樹高成長は衰えるが、その割に樹冠基底半径、すなわち、枝張り方向の成長は衰えない。

(2) 傾斜地の樹冠形

一般に山側に張り出した枝は、谷側の枝より早くから枯れるために山側の枝下高は谷側のそれよりも高く、傾斜地の樹冠は変形している。斜面傾斜角度と山側、谷側の樹冠長との関係は下式で表すことができる(清野・金沢、未発表)。

$$CL_m = \varepsilon \rho^{-0.5} (HI^{0.1563} - \tan G) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$CL_v = \varepsilon \rho^{-0.5} (HI^{0.1563} + \tan G) \quad \dots\dots\dots (17)$$

ただし, CL_m は山側, CL_v は谷側の各平均樹冠長 (m), ρ は林分密度 (no./ha), G は斜面傾斜角度 ($^{\circ}$), ε は常数で 290.5。

(16), (17) 式によれば, 山側と谷側の樹冠長の違いは一般に斜面傾斜角度が大きいほど大きく (Fig. 55), 傾斜が 0° のときに比べて 20° のときは山側の樹冠長は約 1 割短く, 谷側のそれは約 1 割長い。従って, 樹冠長には山側と谷側の平均値を用いる必要がある。

また, 傾斜が緩くとも樹冠は隣接木の大きさや位置関係によって変形されることがある。変形が著しいときは, 樹冠長には下枝の枯れ上がりの多い側と少ない側の平均値を用いる必要がある。

(3) 林冠の閉鎖程度の指数 a^*

(14), (15) 式より

$$CL = 0.56 A^{-1} HI^B S'^{0.5} \quad \dots\dots\dots (18)$$

が成り立つので, 任意の HI と S' の組み合わせに対し最長の CL が存在する。また, CL が最長のとき林冠は閉鎖する。ここで,

$$a^* = CL S'^{-0.5} \quad \dots\dots\dots (19)$$

とおくと (清野ほか, 1987), 閉鎖林分では $S = S'$ なので

$$a^* = 0.56 A^{-1} HI^B \quad \dots\dots\dots (20)$$

が成り立つ。また, 間伐や枝打で林冠が疎開されると林分密度の変化が (19) 式の S , 枝打の影響が同 CL にそれぞれ現れ, a^* は (20) 式で与えられるよりも小さな値をとる。従って, a^* は林冠の閉鎖程

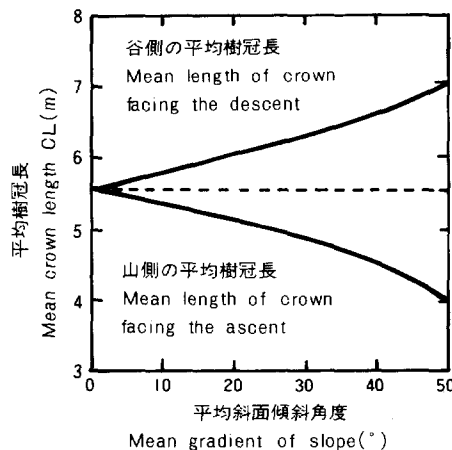


Fig. 55. ヒノキ人工林における平均斜面傾斜角度と山側・谷側の平均樹冠長の関係
Mean length of crown facing the ascent or the descent in relation to mean gradient of slope in a stand of *Chamaecyparis obtusa*.

中性立地, 40 年生, 林分密度 2 000 本/ha の林分の例。

In case of the 40-year-old stand on moderate site with stand density of 2 000 no./ha.

度を表す指数の一種と考えられる。林冠疎開後の S 及び CL の経時値を (19) 式に代入して a^* を求め、林冠の開鎖程度の経時変化を表すこともできる。

(4) a^* と林冠木の諸量

a^* と林冠木の諸量との間にはそれぞれ密接な関係があった (Fig. 56)。 a^* が増し、林冠の開鎖が進むと葉量と枝量、純生産量、脱落量は増える。また、葉の乾物生産能率 (純生産量/葉量) を最大にする a^* の状態がある。

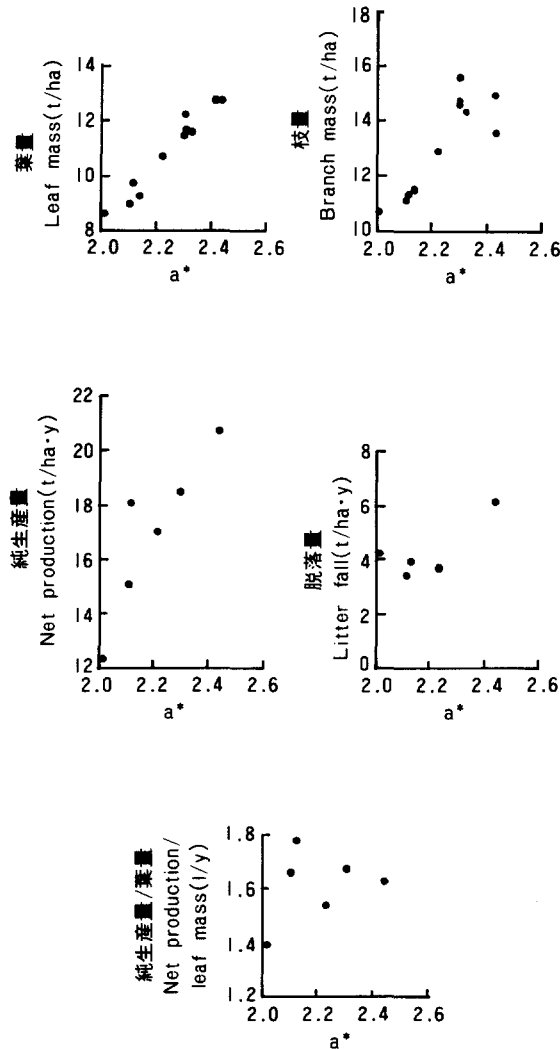


Fig. 56. ヒノキ人工林における a^* と林冠木の諸量の関係 (清野ほか, 1987)

Relationship between values of canopy trees and a^* in *Chamaecyparis obtusa* plantations (KIYONO *et al.*, 1987).

中性立地, 31 年生林分 (No. 15) の例。

In case of the 31-year-old stand (No. 15) on the moderate site.

後述するとおり、 a^* は $RLIa$ と密接にかかわり、 $RLIa$ を通して下層植物群落の純生産量とも一定の関係にある。間伐と a^* との関係を適切に求めることによって、間伐方法（材積率と頻度）と林冠木の純生産量、下層植物群落の純生産量の3者の経年の関係を推定することができる（清野ほか，1989）。それによると、① 間伐によって林冠木の純生産量は減り、下層植物群落の純生産量は増え、合計は減る。② 前2者の関係は間伐方法によって変わり、林冠木の純生産量は同じでも間伐が弱く、かつ、頻度が高いと下層植物群落の純生産量は増え、最大10数%の違いが生じる。③ 下層植物群落の純生産量を増すには、林冠木の純生産量をある程度犠牲にする必要がある。

なお、 a^* は $RLIa$ のほかに純放射量率や樹冠通過雨量率など、林地の熱・水収支にかかわる諸数値とも密接な関係にある（坪山ほか，1989；坪山，1989）。それらの関係を適切に定式化することによって、林冠量にかかわる環境要因を立木測定を通して推定する見通しも与えられる（藤森，1988）。

(5) a^* の問題点

ところで、 a^* にはなお改善を要する点もある。極端な過密あるいは過疎な林分では樹高が若干低くなる（SPURR, 1952）傾向がある。強度枝打によって樹高成長が衰える場合もある（HERMERS, 1946）。従って、林分密度や枝打は樹高成長にある程度影響を及ぼすと考えられるが、その推定は難しい。ここでは影響を無視した。

また、樹冠構造に対する林分密度と枝打の影響には異なる点があるので、両者を a^* で統一して表すのは厳密には正しくない。例えば、平均樹冠長と林冠葉量との関係は、密度効果による場合と枝打による場合とでは傾向が異なる。Fig. 49 中の平均樹冠葉量を持つ木の葉量の垂直分布（Fig. 57）によって、間伐・枝打強度と a^* 及び林冠葉量との関係を検討すると、 a^* を同じだけ下げても間伐によるか枝打によるかによって林冠葉量に違いが現れた（Fig. 58）。

さらに、間伐後の林冠空隙の水平分布は、間伐率が小さいと集中分布的になりやすく（安藤，1983）、枝打後の林冠空隙の分布がより一様であるのとは異なる。

a^* の普遍性の高さや簡便さは以上の欠点を補い得ると考えられるが、今後改良する必要がある。

(6) 林冠閉鎖線

a^* を視覚的にとらえるには、閉鎖林分における平均占有面積と平均樹冠長との関係線（Fig. 59：左下から右上に向かう線）からの隔たりを見るのがよい。

HI が 0.3 m/y（一本鎖線）あるいは 0.1 m/y（実線）の林分における平均占有面積と平均樹冠長、 a^* の関係は Fig. 59 のとおりである。例えば、70 年生閉鎖林分の a^* は Fig. 59 の実線上にあり、林冠を疎開すると下方へ動く。すなわち、疎開が枝打による場合は P 点へ下に動き、間伐による場合は T 点へ右に動き、枝打+間伐による場合は TP 点へ動く。この a^* の実線からの隔たりが林冠の疎開程度を表す。疎開後、樹冠が成長し林冠が閉じる過程は、P, T, TP 各点からの上向きの動き（矢印）で表される。 a^* が実線に達したときに再閉鎖が完了する。

Fig. 59 上で HI クラスごとに最大の a^* を結んだ線は、ある HI 及び林分密度では平均樹冠長がそれ以上長くなれないという限界の長さを結んだ線といえる。これを「林冠閉鎖線」と呼び、林冠の閉鎖程度を表すときの基準とする。

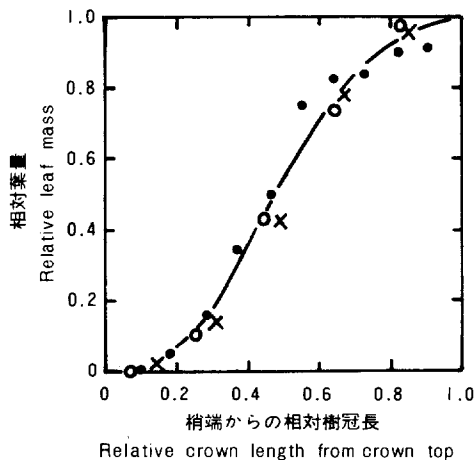


Fig. 57. 平均樹冠葉量を持つヒノキの葉量の垂直分布

Vertical distribution of leaf mass in trees of *Chamaecyparis obtusa* with the mean leaf mass in the stands.

相対葉量：閉鎖林分の葉量に対する葉量の相対値

Relative leaf mass: Ratio of leaf mass to that of closed stand

- ：16年生林分 ×：同31年生
16-year-old stand 31-year-old stand
●：同73年生
73-year-old stand

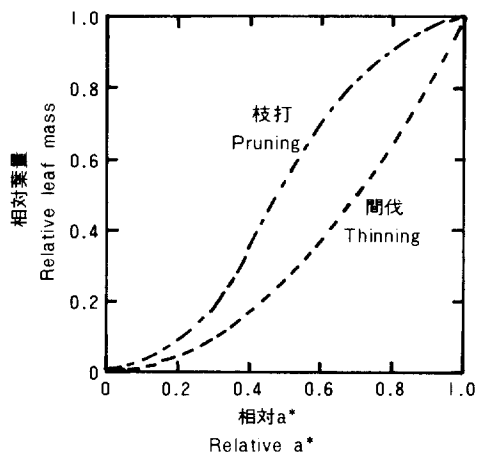


Fig. 58. ヒノキ人工林における相対 a^* 及び相対葉量の間伐あるいは枝打に伴う変化
Changes in relative a^* and relative leaf mass after thinning or pruning in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

相対 a^* ：閉鎖林分の a^* に対する a^* の相対値。

Relative a^* ：Ratio of a^* to that of closed stand.

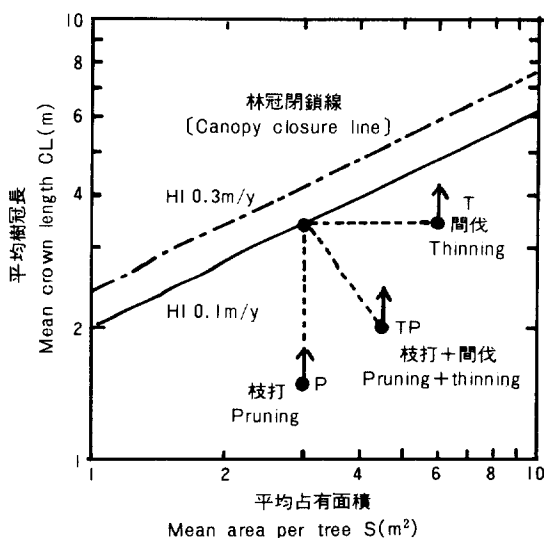


Fig. 59. ヒノキ人工林における〔林冠閉鎖線〕と枝打，間伐，あるいは枝打+間伐後の林冠の閉鎖過程との関係

Relationship between [Canopy closure line] and the process of canopy closure after pruning, thinning or pruning + thinning in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

4.1.3 未閉鎖期間の推定——等未閉鎖期間線

(1) 疎開が間伐のみによるときの未閉鎖期間

林冠疎開後、再閉鎖するまでの期間（未閉鎖期間）（ t , y ）は、

$$t = (CL - CL_0) / (HI - HBI) \quad \dots\dots\dots (21)$$

ただし、 CL_0 は林冠疎開直後、 CL は再閉鎖時の各平均樹冠長（ m ）、 HBI は年平均枝下高上昇量（ m/y ）、で与えられる。また、

$$CL - CL_0 = a \cdot HI^B S^{0.5} - a \cdot HI_0^B S_0^{0.5}$$

ただし、 HI_0 は林冠疎開直後の年平均樹高成長量（ m/y ）、 S_0 は同平均占有面積（ m^2 ）、であり、樹高成長が変わらないと見なせる短い期間では $HI = HI_0$ が成り立つので、

$$\begin{aligned} CL - CL_0 &= a \cdot HI^B (S^{0.5} - S_0^{0.5}) \\ &= a \cdot HI^B S_0^{0.5} [(S^{0.5}/S_0^{0.5}) - 1] \\ &= CL_0 [(S/S_0)^{0.5} - 1] \quad \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

従って、(21)、(22) 式より

$$t = CL_0 [(S/S_0)^{0.5} - 1] / (HI - HBI) \quad \dots\dots\dots (23)$$

ところで (23) 式では樹冠の周りが等しく疎開され、林冠空隙が樹冠周囲に均等分布することを仮定している。しかし、この仮定は間伐率が低いときには必ずしも成り立たない（安藤，1983）。(23) 式は修正する必要がある。

(2) 未閉鎖期間の修正係数 K

[1] 閉鎖林分では樹冠基底面積と占有面積が等しく、かつ樹冠基底は円形、

[2] 疎開による占有面積の拡大と樹冠基底面積の増加は同心円あるいは同心の弧状に進む、

と仮定すると、疎開によって S_0 から S へ拡大された占有水平空間の最大半径（ r ）と間伐前の同半径（ r_0 ）との差は、下式で表される。

$$\begin{aligned} r - r_0 &= \pi^{-0.5} \{[S_0 + N(S - S_0)]^{0.5} - S_0^{0.5}\} \\ &= \pi^{-0.5} \{[NS + (1 - N)S_0]^{0.5} - S_0^{0.5}\} \quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

ただし、 N は樹冠の全周囲長に対する疎開によって開放された周囲長の割合。林分平均の N は疎開前、疎開後の林分密度をそれぞれ ρ_0 , ρ としたとき、 $\rho/(\rho_0 - \rho)$ で与えられる。一方、樹冠の周りが等しく開放される場合は $N=1$ であるので、

$$r - r_{0[N=1]} = \pi^{-0.5} (S^{0.5} - S_0^{0.5}) \quad \dots\dots\dots (25)$$

(24) 式の $r - r_0$ と (25) 式の $r - r_{0[N=1]}$ との比を K とすると、

$$\begin{aligned} K &= (r - r_0) / (r - r_{0[N=1]}) \\ &= \{[NS + (1 - N)S_0]^{0.5} - S_0^{0.5}\} / (S^{0.5} - S_0^{0.5}) \quad \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

ただし、 $K \geq 1$ 。実際の未閉鎖期間は (23) 式で与えられるよりも K 倍程度長くなると考えられるが、これは検証を要する。しかし、いまのところ適切な検証資料がないので、ここでは仮定のまま K を導入することとし、(23) 式を

$$t = KCL_0 [(S/S_0)^{0.5} - 1] / (HI - HBI) \quad \dots\dots\dots (27)$$

と修正する。なお、(26) 式において $N = \rho / (\rho_0 - \rho)$, $S\rho = S_0\rho_0 = \text{const.}$ 。また、間伐率 $(\rho_0 - \rho) / \rho_0$ を Rt とおくと、

$$K = 0.4142 \{(1 - Rt)^{-0.5} - 1\}^{-1}$$

ただし、 $K \geq 1$ 。すなわち、間伐のときの K は間伐率の函数で表せる。もっとも、間伐率 50% 以下の間伐では、

$$K[(S/S_0)^{0.5} - 1] = 0.4142 \quad (\text{一定})$$

であるので、(27) 式は、

$$t = 0.4142 CL_0 / (HI - HBI) \quad \dots\dots\dots (28)$$

すなわち、 t は間伐率と無関係になる。

(3) 疎開が枝打あるいは枝打+間伐によるときの未閉鎖期間

枝打前、枝打直後の平均樹冠長をそれぞれ CL_0 , CL_p 、再開鎖したときのそれを CL で表すと、

$$t = K (CL - CL_p) / (HI - HBI) \quad \dots\dots\dots (29)$$

また、樹冠長の残存率 CL_p / CL_0 を C とすると、

$$CL - CL_p = CL_0 [(S/S_0)^{0.5} - C] \quad \dots\dots\dots (30)$$

(26), (27) 式より、

$$t = KCL_0 [(S/S_0)^{0.5} - C] / (HI - HBI) \quad \dots\dots\dots (31)$$

(31) 式の C を 1 ($CL_p = CL_0$) とすれば (27) 式になる。なお、枝打直後の林冠空隙の分布は一様と考えられるので、疎開が枝打のみによるときの K は 1 である。

(4) 枝下高の動態

保育などの条件と HBI の挙動との関係は十分に明らかではない。16 と 31 年生林分に間伐や枝打を行い、1~3 年間の枝下高の変化を調べたところ (Table 24)、閉鎖林分の HBI は HI にほぼ等しかった。しかし、強度の間伐や枝打が行われた林分では HBI はより小さくなった。測定数が少ないのではっきりした結論は示しにくい、間伐林分の HBI は間伐後 1 年間は 0.3~0.4 m 程度であり、その後はより小さくなる。また、枝打後では 0 であった。観察によると、下枝が枯れるのは秋~冬季に行われた間伐の直後であることが多かった。特に降雪後数日間の冠雪状態にあった下枝が枯れやすいという傾向は明らかであった。間伐後間もない下枝の枯死は、すでに瀕死の状態にあった下枝が、間伐によって隣接木の枝葉による庇護を失い、厳しい環境ストレスを受けたために生じたものと思われる。

また、下枝の枯れ上がりには不測の年変動もあるらしい。齊藤(秀) (1974) が 40 年生ヒノキ林について 6 年間調べたところでは年落葉量に 2 倍以上の開きがあったという。落葉量と下枝の枯れ上がりとの間には正比例に近い関係がある (清野, 未発表) ので、 HBI にも同様な変動があることが想像される。

以上、 HBI の動態には不明な点も残されているが、以下に閉鎖林分の HBI は HI に等しく、未閉鎖林分の HBI は 0 であると仮定して解析を進める。この際、年変動の影響は考慮しない。

(5) 等未閉鎖期間線

一定の HI クラス、また、(27) あるいは (31) 式によって与えられる未閉鎖期間の一定クラスごとに、等しい未閉鎖期間を与える林分密度及び平均樹冠長の組み合わせを a^* を仲立ちにして求めた。そ

Table 24. 間伐あるいは枝打がヒノキ人工林の樹高成長及び枝下高上昇に及ぼす影響
Influence of thinning or pruning on tree height growth and rising of the lowest live branch in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	疎開方法 Canopy treatment	1 年目 The 1st year		2 年目 The 2nd year		3 年目 The 3rd year	
		HI* (m/y)	HBI** (m/y)	HI* (m/y)	HBI** (m/y)	HI* (m/y)	HBI** (m/y)
11	無処理 Control	0.5	0.3	0.6	0.7	—	—
11	間 伐 Thinning	0.5	0.3	0.2	0	—	—
11	枝 打 Pruning	0.5	0	0.3	0	—	—
11	間伐+枝打 Thin.+Prun.	0.4	0	0.4	0	—	—
15	無処理 Control	0.5	0.5	—	—	—	—
15	間 伐 Thinning	0.6	0.4	0.3	0.1	0.5	0.2

*：樹高成長 Height growth

**：枝下高上昇 Rising of the lowest live branch

れらを結んだ線群のそれぞれを「等末閉鎖期間線」と呼ぶ。「等末閉鎖期間線」によって HI と S 及び CL から末閉鎖期間や林冠の再閉鎖経過を推定することができる。

4.1.4 林内相対照度の推定 —— 等照度線

(1) a* と林内相対照度の関係

林内相対照度 (RLIa) と a* との関係は、樹高成長の異なる林分ごとに下式によって表された (Fig. 60)。

$$1/a^* = 1/M \log (RLIa/100) + 1/N \quad \dots\dots\dots (32)$$

ただし、M, N は最小自乗法で求めた常数で、それぞれ HI 0.47 m/y のときに -2.85 と 4.56 ($r^2 = 0.97^{**}$), HI 0.31 m/y で -3.20 と 4.33 ($r^2 = 0.96^{**}$), HI 0.125 m/y で -3.45 と 3.45 ($r^2 = 0.80^{**}$)。

-M は、その値が小さいうちの a* の増加に対する RLIa の減衰率に、N は a* の最大値にそれぞれ当たる。M と N はいずれも HI と関係が深く (Figs. 61, 62), その関係は下式によって表された。

$$M = -2.639 HI^{-0.1343} \quad (r^2 = 0.89) \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$N = 5.457 HI^{0.2170} \quad (r^2 = 0.98) \quad \dots\dots\dots (34)$$

(2) 等照度線

(32)~(34) 式によって任意の HI の林分における a* と RLIa との関係が求まる。一定の HI クラス及び RLIa クラスごとに、等しい RLIa を与える林分密度及び平均樹冠長の組み合わせを a* を仲立ちにして求めた。それらを結んだ線群のそれぞれを「等照度線」と呼ぶ。「等照度線」によって HI と S 及び CL から RLIa を推定することができる。

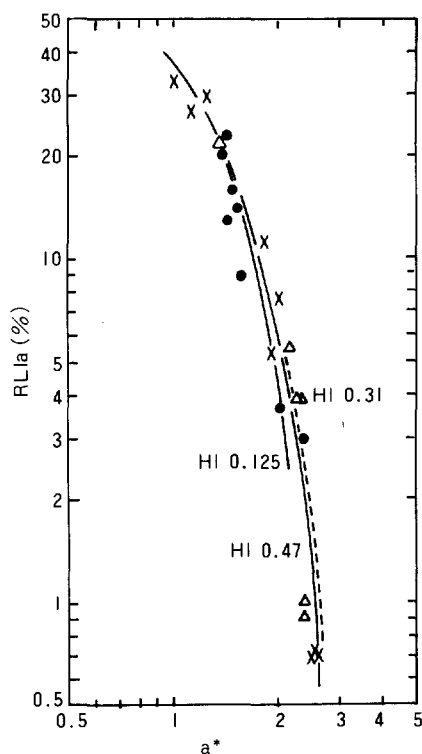


Fig. 60. 平均樹高成長を異にするヒノキ人工林における a^* と $RLIa$ の関係
Relationship between $RLIa$ and a^* at the different growth of mean tree height in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

$\times$: HI 0.47 m/y (No. 11)
 $\triangle$: HI 0.31 m/y (Nos. 15, 34)
 $\bullet$: HI 0.125 m/y (No. 17)

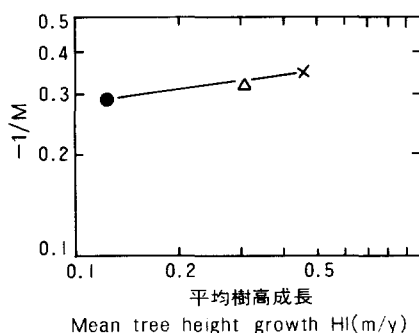


Fig. 61. ヒノキ人工林における平均樹高成長と
 常数 M の関係

Relationship between constant M and mean tree height growth in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号は Fig. 60 と同じ。
 Symbols are same as Fig. 60.

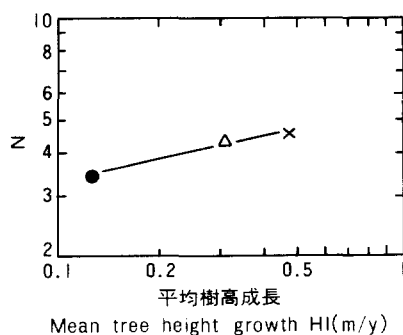


Fig. 62. ヒノキ人工林における平均樹高成長と
 常数 N の関係

Relationship between constant N and mean tree height growth in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

符号は Fig. 60 と同じ。
 Symbols are same as Fig. 60.

4.1.5 林内相対照度の予測図

HI クラスごとに [林冠閉鎖線], [等末閉鎖期間線], [等照度線] をまとめて図示したものは, HI と S , CL から $RLIa$ の経年変化を予測する図として, また, $RLIa$ の調節に必要な樹冠管理を検討する図として使える。これを林内相対照度の予測図と呼ぶ。通常の林分の HI (Table 25) に合わせて, HI が 0.3, 0.2 あるいは 0.1 (m/y) のときの図を示した (Figs. 63~65)。

予測図は三つの基本的な関係から成り立つ。第一の基本的な関係は、左下から右上に向かう平行線のうち最も上の線：[林冠閉鎖線]である。閉鎖林分における林分密度と平均樹冠長との関係を表す。閉鎖林分の平均樹冠長は林分密度が小さいほど長い。

第二の基本的な関係は、左下から右上へ向かう平行線である。等しい相対照度を結んだもので[等照度線]と呼ぶ。RLIaを推定する。例えば、林分密度が2500 no./haで平均樹冠長が4.8 mの林分は[林冠閉鎖線]上にある。従って、閉鎖林分である。そのRLIaは右側の縦軸で1.7%と読める。この林分に枝打を行い平均樹冠長を4 mに減らすとRLIaは6%となる。あるいは間伐を行い林分密度を1/2に減らすとRLIaは12%である。この枝打と間伐を組み合わせるとRLIaは20%となる。

第三の基本的な関係は、左下から右上へ向かう破線：[等末閉鎖期間線]である。閉鎖を破られた林冠が再び閉じて行くプロセスや時間を推定する。再閉鎖に要する時間は、上述の枝打の後では約3 K年、同間伐では約6 K年、同枝打間伐では約9 K年である。さきに述べたとおり、Kは疎開による林冠の隙間の空きかたによって変わる係数で、隙間が樹冠の周囲に等しく空いた場合（例えば、枝打による疎開）、Kは1となる。等しくない場合（同、弱度間伐による疎開）は、林分全体の隙間の総量は同じでも隣の樹冠までの距離が遠くなるので、閉鎖に時間がかかりKは1より大きくなる。

4.2 下層植物群落の高さ・植被率の推定

材料と方法

RLIaの経年変化と下層植物群落の高さや植被率の増加との関係を明らかにするため、次の調査解析を行った。ただし、下層植物群落の高さとは低木層高を指す。低木層を欠くときは草本層の高さとする。

下層植物群落の高さや植被率の増加傾向を明らかにするため、1980～1984年の間で4月を選び、林冠の閉鎖程度やRLIaの経年変化を調べた中性立地の16年生林分（No. 11）の4区（間伐+枝打、枝打、間伐各処理及び無処理）、30年生林分（No. 15）の1区（2回の間伐）、30年生林分（No. 34）の1区（無処理）及び70年生林分（No. 17）の2区（間伐+枝打処理と無処理）計8区のそれぞれに2 m×2 m～4 m×4 mの小区画を一つずつ設け、下層植物群落を下刈した。そして、小区画内の下層植物群落の高さ及び植被率をRLIaの測定に合わせて経年的に調べた（Table 26）。

RLIaと下層植物群落の地上部純生産量との関係を明らかにするため、1980年4月に中性立地の70年生林分（No. 17）の無処理区から間伐+枝打区の中央へ向けてラインを引き、それに沿って下層植物群落を根系を含めて取り除いた。そして、翌1981年8月、ラインに沿って1 m×1 mの小区画を14

Table 25. 立地区分、林齢とヒノキ人工林の平均樹高成長

Relationship among site class, stand age and mean height growth of *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林齢 Stand age (y)	平均樹高成長 Mean height growth of the stand (m/y)		
	乾性立地 Dry site	中性立地 Moderate site	湿性立地 Wet site
10	0.35	0.44	0.51
20	0.27	0.32	0.35
30	0.21	0.24	0.26
40	0.17	0.19	0.20
50	0.14	0.15	0.16
60	0.12	0.12	0.13
70	0.10	0.10	0.11
80	0.08	0.09	0.09

Table 2 の説明文中の式によって求めた。

By the equation in the explanation of Table 2.

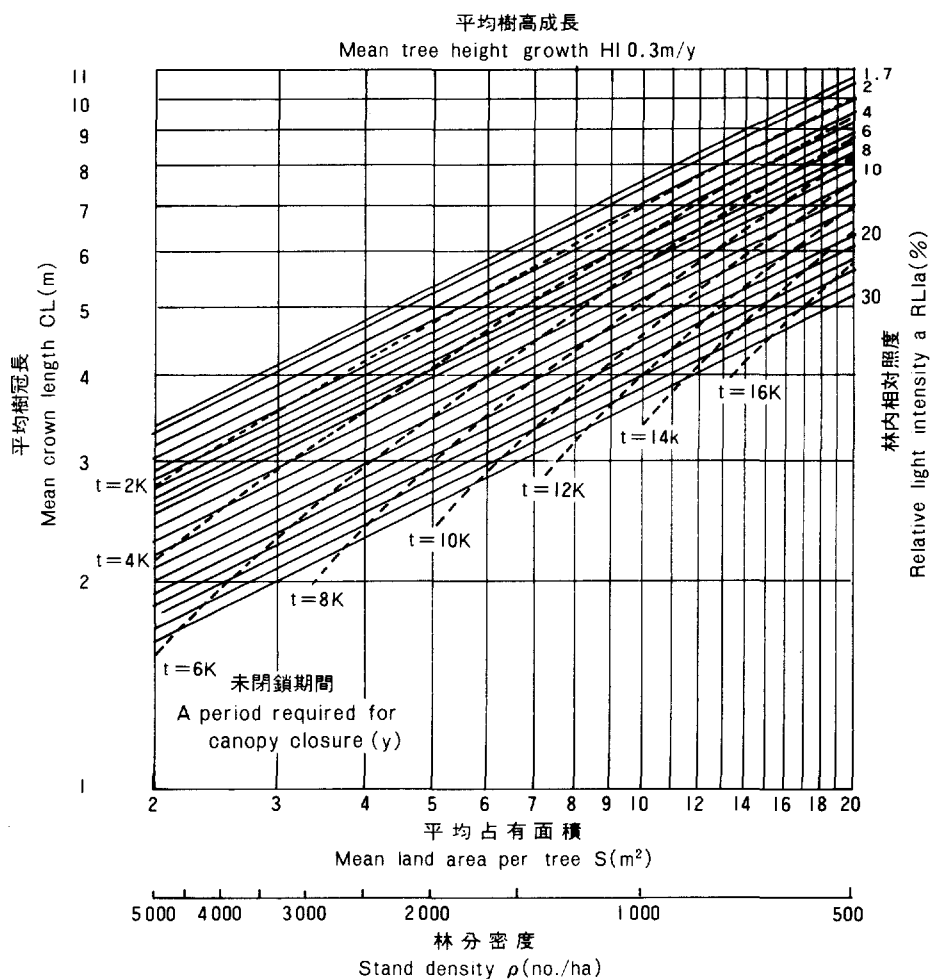


Fig. 63. ヒノキ人工林の林内相対照度 (RLIa) の予測図 1*

The diagram for estimating relative light intensity a (RLIa) in *Chamaecyparis obtusa* plantations 1*.

* HI 0.3 m/y の林分に適用。

Applicable to stands of HI 0.3 m/y.

t は未閉鎖期間, K は修正係数 (本文参照)。

t shows the period required for canopy closure, K is a coefficient of canopy closure (See the text).

個設け, 各小区画の RLIa を測ったあと下層植物群落の種を判別し, 高さと地上部現存量などを調べた。RLIa の測定条件は前述の例に準じた。

RLIa とスギ樹下植栽木の樹高成長との関係を明らかにするため, 1980 年 4 月に中性立地の 70 年生林分 (No. 17) の無処理区と間伐+枝打区に高さ 0.4 m のスギ苗を 8 本ずつ植え, その樹高を 6 年間毎年 1 回調べた。

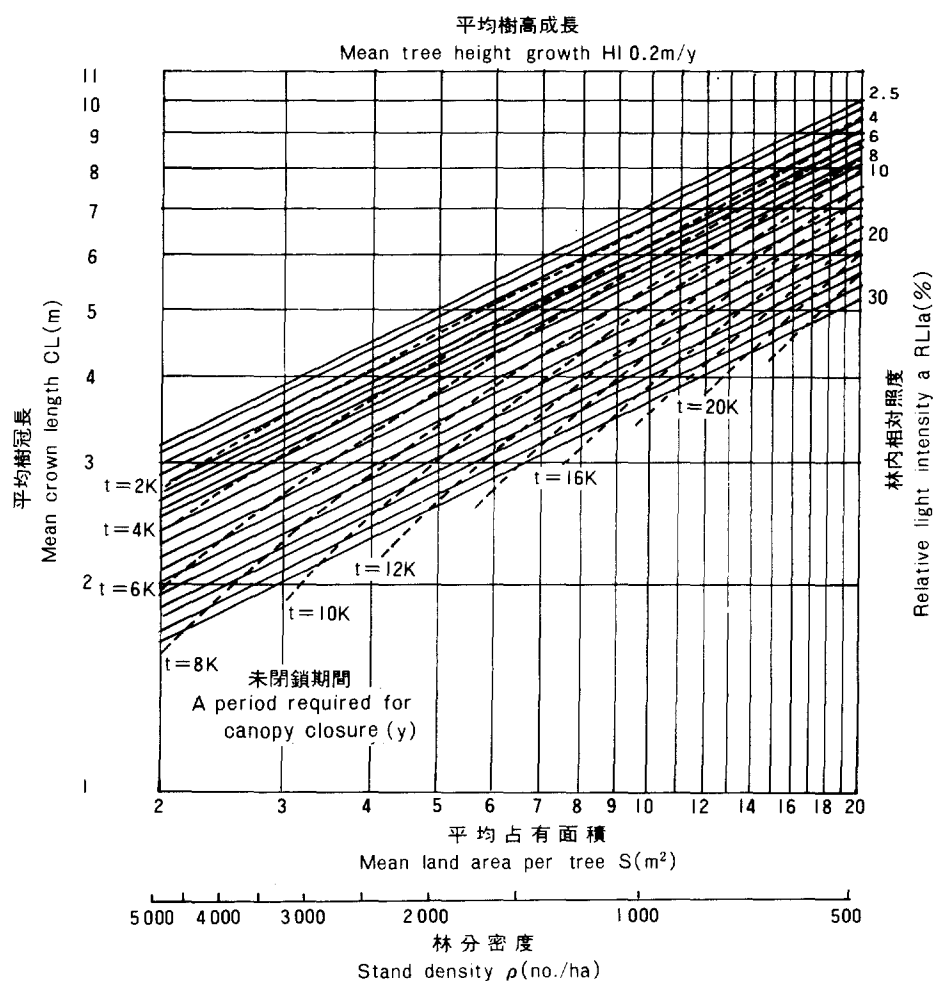


Fig. 64. ヒノキ人工林の林内相対照度 (RLIa) の予測図 2*

The diagram for estimating relative light intensity a (RLIa) in
Chamaecyparis obtusa plantations 2*.

* HI 0.2 m/y の林分に適用。

Applicable to stands of HI 0.2 m/y.

t は未閉鎖期間, K は修正係数 (本文参照)。

t shows the period required for canopy closure, K is a coefficient of canopy closure (See the text).

以上の結果を基に、下層植物群落高の成長について次の解析を行った。

MONSI・OSHIMA (1955) は光条件と物質生産との関係に基づいて森林群落内の稚樹の伸長成長をモデル的に解析した。すなわち、

[1] 稚樹の地上部は枯れることなく物質生産がプラスである限り伸長成長を続けて、年とともに芽のつく位置が高くなる、

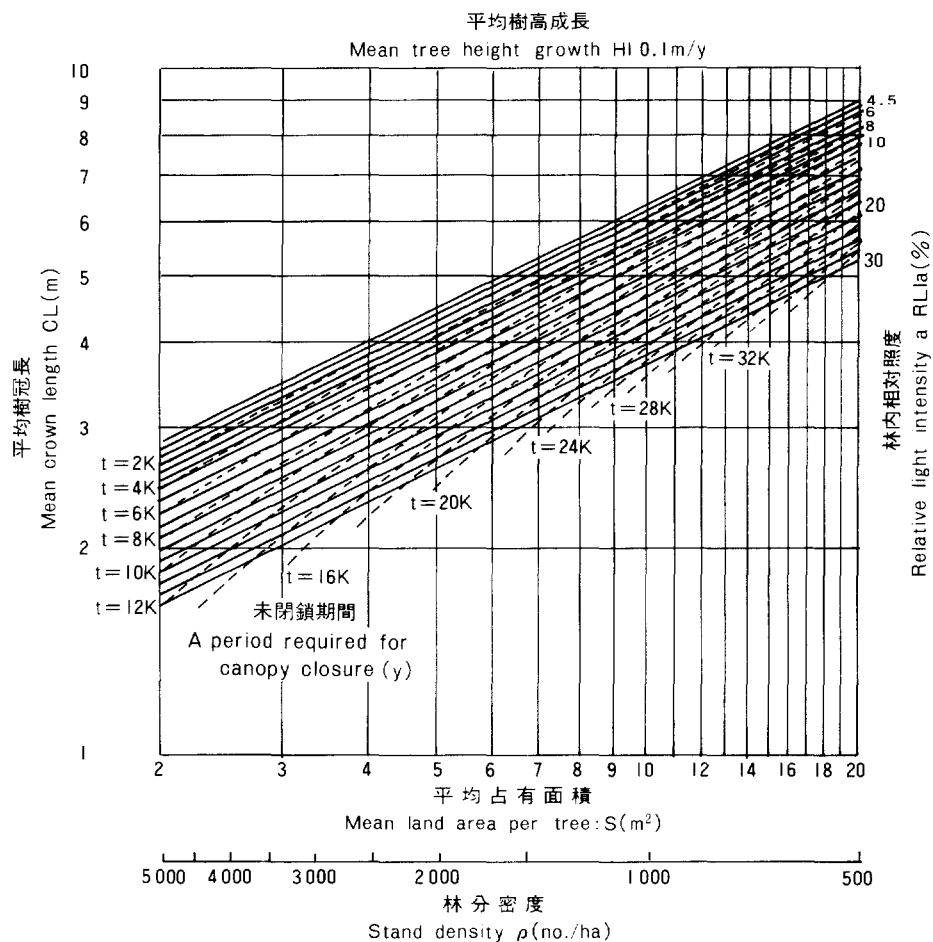


Fig. 65. ヒノキ人工林の林内相対照度 (RLIa) の予測図 3*

The diagram for estimating relative light intensity a (RLIa) in *Chamaecyparis obtusa* plantations 3*.

* HI 0.1 m/y の林分に適用。

Applicable to stands of HI 0.1 m/y.

t は未閉鎖期間, K は修正係数 (本文参照)。

t shows the period required for canopy closure, K is a coefficient of canopy closure (See the text).

[2] 伸長成長の大きさは物質生産の量に比例する,

と仮定すると, 与えられた光条件下の稚樹の伸長成長は,

[3] 100% 光の下での伸長成長曲線と,

[4] 100% 光の下での物質生産力に対して, ある与えられた光条件下の相対的な物質生産力

が求められれば計算でき, これを繰り返すことによって, 稚樹の伸長成長曲線が得られる。

本研究ではこの方法を援用して下層植物群落高の成長を推定した。まず, [1], [2] を仮定した。[1] は個体ごとに見ると必ずしも成り立たないが, 群落では仮定を許される。ついで, [3] の成長曲線には

Table 26. ヒノキ人工林における RLla と下層植物群落の高さ及び植被率の経年変化

Annual changes of height and coverage of understories and RLla in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

林分 No. Stand No.	疎開方法 Canopy treatment	調査年 Year	RLla (%)	下層植物群落 Understories	
				高さ Height (m)	植被率 Coverage (%)
11	無処理 Control	1st	0.7	+	2
		2nd	0.7	+	2
11	間伐 Thinning	1st	11.0	—	—
		2nd	5.3	0.15	40
11	枝打 Pruning	1st	16.5	—	—
		2nd	10.5	0.40	100
11	間伐+枝打 Thin. +Prun.	1st	33.0	1.00	100
		2nd	26.5	1.71	100
34	無処理 Control	1st	1.0	+	+
15	間伐 Thinning	1st	5.5	0.05	2
		2nd	3.9	0.08	3
		3rd	10.0	0.20	15
17	無処理 Control	1st	3.7	+	+
		4th	—	0.18	42
		6th	3.7	0.23	62
17	間伐+枝打 Thin. +Prun.	1st	20.0	0.18	100
		2nd	23.0	0.70	100
		3rd	13.0	1.32	100
		4th	16.0	1.49	100
		5th	14.0	1.80	100
		6th	8.9	1.93	100

16 と 31 及び 70 年生各林分で得られた種々の RLla 下における下層植物群落高のそれを用いた。70 年生林分の下層には疎開前から生育していた個体もあったが、他林分との比較の条件をそろえるために、下層植物群落高を算出する対象には含めなかった。そして、[4] の関係には 70 年生林分で得られた RLla と地上部純生産量との関係 (Fig. 66) を用いた。このように [3], [4] では 100% 光よりも低照度下で得られた関係を用いることになる。しかし、MONSI・OSHIMA (1955) の方法と原理は同じであり、低照度下の成長を論じる限り問題はない。

なお、Fig. 66 の関係を得た下層植物群落の構成種について生育状態を観察した結果、各種は閉鎖した壮齡林分内では育たない陽性植物と育つことのできる耐陰性植物とに分けられた (Table 27)。後者はさらに、初期成長に強い日当たりが必要なために間伐に伴って発生し、再開鎖後は閉鎖林内で育つ耐

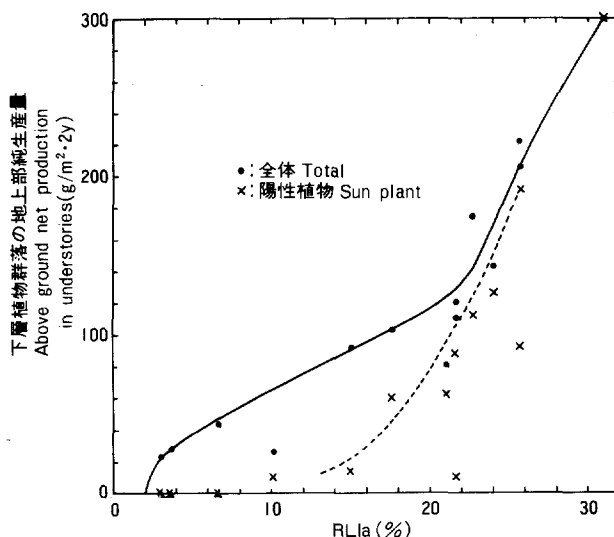


Fig. 66. ヒノキ人工林における RLIIa と下層植物群落の地上部純生産量との関係
Relationship between above ground net production in understorey and RLIIa in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

陰性植物Ⅰ型と、閉鎖林内で更新できる耐陰性植物Ⅱ型とに分けられた。これらの中には、日当たりを好まない植物も含まれていよう。下層植物群落には光条件に対する反応の様々に異なる種が混生している。高い RLIIa 下での地上部純生産量には陽性植物の、低い RLIIa 下のそれには耐陰性植物の性格がそれぞれ現れている (Fig. 66)。

4.2.1 下層植物群落高の成長の推定

(1) 下層植物群落高の成長の推定

こうして得られた下層植物群落高の成長曲線 (Fig. 67) には、林分による傾向の分離がほとんど認められず、結果は満足すべきものであった。RLIIa が 20, 10 あるいは 3% に一定している林内で下層植物群落高が 0 から 1 m になるには、それぞれ約 2~3, 6 あるいは 15 年が必要と推定された。RLIIa が経年的に変わるときの成長も同じ方法で推定できる。

(2) スギの樹高成長の推定

同様にスギ樹下植栽木の樹高成長を MONSI・OSHIMA (1955) の方法を援用して解析した。すなわち、[1] を仮定し、[3] を 70 年生林分で得られたスギ樹下植栽木の樹高成長曲線で代用した上で、100% 光の下における伸長成長量に対する与えられた光条件下の相対的な伸長成長量 (河原, 1983) からスギの樹高成長曲線を求めた (Fig. 68)。

RLIIa が 20, 10 あるいは 3% に一定している林内でスギ樹高が 0.4 m から 1 m になるには、それぞれ約 2, 3 あるいは 8 年、0.4 m から 2 m になるにはそれぞれ 5, 8 あるいは 20 年が必要と推定された。また、スギの樹高は RLIIa 10 あるいは 3% の林内では下層植物群落高よりも常に高いが、20%

Table 27. ヒノキ人工林における陽性植物と耐陰性植物

Sun plant and shade-enduring plant in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

タイプ Type	種 Species
陽性植物 Sun plant	<i>Rubus microphyllus</i> (ニガイチゴ) <i>Broussonetia kajinoki</i> × <i>B. papyrifera</i> (コウゾ) <i>Aralia elata</i> (タラノキ) <i>Mallotus japonicus</i> (アカメガシウ) <i>Carpeium divaricatum</i> (ガンクビソウ) <i>Teucrium viscidum</i> (ツルニガクサ) <i>Lysimachia clethroides</i> (オカトラノオ) <i>Stachyurus praecox</i> (キブシ) <i>Fagara manchurica</i> (イヌザンショウ) <i>Rubus phoenicolasium</i> (エビガライチゴ) <i>Quercus acutissima</i> (クヌギ) <i>Clerodendron trichotomum</i> (クサギ) <i>Erigeron philadelphicus</i> (ハルジオン) <i>Swertia japonica</i> (センブリ) <i>Lactuca sororia</i> (ムラサキニガナ) <i>Solanum japonense</i> (ヤマホロシ) <i>Cocculus orbiculatus</i> (アオツツラフジ) <i>Erigeron canadensis</i> (ヒメムカシヨモギ) <i>Ajuga nipponensis</i> (ジュウニヒトエ) <i>Miscanthus sinensis</i> (ススキ) <i>Solidago altissima</i> (セイタカアワダチソウ) <i>Carex humilis</i> subsp. <i>lanceolata</i> (ヒカゲスゲ) <i>Rubus hirsutus</i> (クサイチゴ)
耐陰性植物 (タイプ I*) Shade-enduring plant (Type I*)	<i>Rhus trichocarpa</i> (ヤマウルシ) <i>Styrax japonica</i> (エゴノキ) <i>Lindera umbellata</i> (クロモジ) <i>Celastrus orbiculatus</i> (ツルウメモドキ) <i>Callicarpa mollis</i> (ヤブムラサキ) <i>Smilax china</i> (サルトリイバラ) <i>Akebia trifoliata</i> (ミツバアケビ) <i>Viburnum dilatatum</i> (ガマズミ) <i>Berchemia racemosa</i> (クマヤナギ) <i>Sambucus racemosa</i> subsp. <i>Sieboldiana</i> (ニワトコ) <i>Viburnum erosum</i> (コバノガマズミ) <i>Ampelopsis</i> <i>brevipedunculata</i> (ノブドウ) <i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i> (モミジイチゴ) <i>Callicarpa japonica</i> (ムラサキシキブ) <i>Zanthoxylum piperitum</i> (サンショウ) <i>Dumasia truncata</i> (ノササゲ) <i>Dioscorea tokoro</i> (オニドコロ) <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (アマチャズル)
耐陰性植物 (タイプ II**) Shade-enduring plant (Type II**)	<i>Helwingia japonica</i> (ハナイカダ) <i>Aucuba japonica</i> (アオキ) <i>Neolitsea sericea</i> (シロダモ) <i>Eurya japonica</i> (ヒサカキ) <i>Phryma leptostachya</i> subsp. <i>asiatica</i> (ハエドクソウ) <i>Viola grypoceras</i> (タチツボスミレ) <i>Spuriopimpinella nikoensis</i> (ヒカゲミツバ) <i>Disporum sessile</i> (ホウチャクソウ)

* 閉鎖林内で結実しない。
Sexual reproduction is impassable in a closed stand.** 閉鎖林内で結実する。
Sexual reproduction is passable in a closed stand.

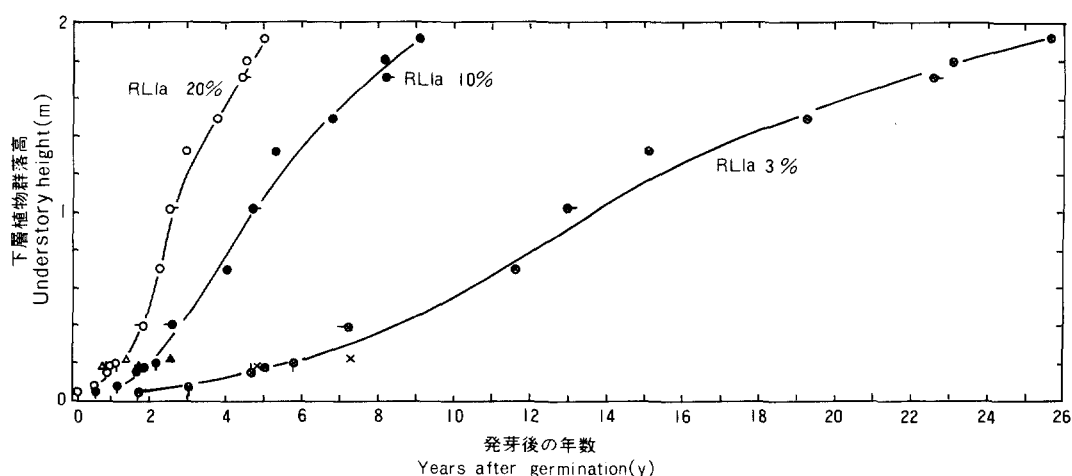


Fig. 67. ヒノキ人工林における下層植物群落高の成長曲線の推定

Estimation of growth curve of understory height in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

- ⊗— : 16年生林分間伐+枝打区
Thinned and pruned stand of 16-year-old (In No. 11)
- -●- -⊗- : 同枝打区
Pruned stand of same age as before (In No. 11)
- ⊗ : 同間伐区
Thinned stand of same age as before (In No. 11)
- ⊗ : 31年生林分間伐区
Thinned stand of 31-year-old (In No. 15)
- ⊗ : 70年生林分間伐+枝打区
Thinned and pruned stand of 70-year-old (In No. 17)
- △▲× : 同無処理区
Control of same age (In No. 17)

の林内では3年目に追いつかれると推定された。

4.2.2 下層植物群落の植被率の増加に関する推定

下層植物群落高が高くなるに従い一般にその植被率も増加する。しかし、両者の関係は RL1a の履歴によって変わる (Fig. 69)。RL1a 10% 以上の林内では下層植物群落高は低くても、植被率は100%に達した。RL1a 10% 未満では植被率はより小さくなった。

このように下層植物群落の高さと植被率との関係が RL1a によって様々となる理由は、照度によって構成種やその成長速度、樹形が変わること、また、低い照度下では繁殖体の供給量の及ぼす影響が増すことなどに求められる。

下層植物群落の植被率の最も劣るのは無処理林分であった。群落高が1mのときの植被率は約20%である (Fig. 69)。これは中性立地で得られた結果であるので、ほかの立地の結果 (Table 1) と比べたところ、乾性立地の低木層植被率がやや低い程度で、立地間の違いは小さかった。また、間伐履歴のある閉鎖林分 (Table 1) についても比べたが、立地間の違いはやはり小さかった。

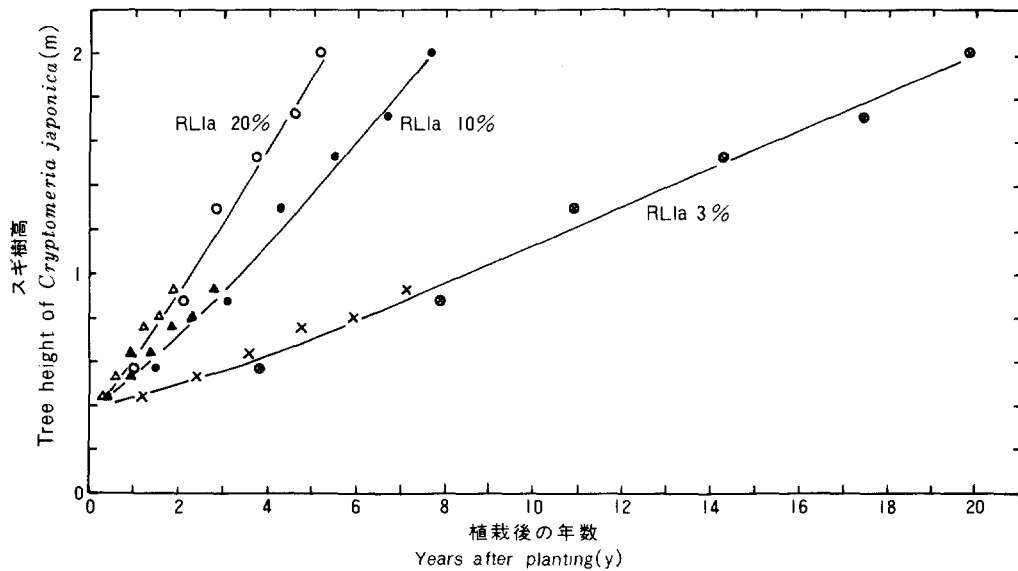


Fig. 68. ヒノキ人工林内に植えられたスギの樹高成長曲線の推定
 Estimation of height growth curve of *Cryptomeria japonica* planted in
Chamaecyparis obtusa plantation.

植栽時の樹高 Tree height at the planting : 0.4 m

○●×: 70年生林分間伐+枝打区

Thinned and pruned stand of 70-year-old (In No. 17)

△▲×: 同無処理区

Control stand of same age as before (In No. 17)

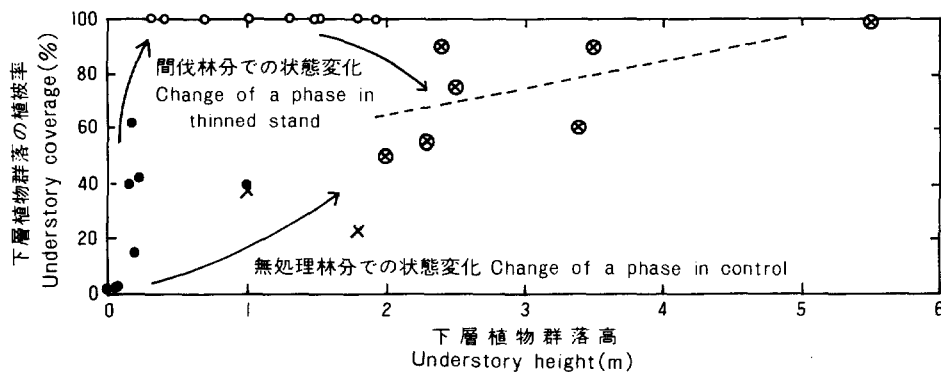


Fig. 69. ヒノキ人工林における下層植物群落の高さと植被率の関係
 Relationship between understory height and its coverage in *Chamaecyparis*
obtusa plantations.

●: 未閉鎖林分 Not closed stand RLla < 10%

○: 未閉鎖林分 Not closed stand RLla ≥ 10%

×: 無処理林分 Control

⊗: 間伐履歴を持つ閉鎖林分 Closed stand after thinning

次に、下層植物群落高と低木層植被率との関係をおおまかにとらえるために、無処理林分と間伐履歴のある閉鎖林分とをこみにして、立地区分ごとに低木層の高さ (H_s) と植被率 (C_s) の関係を求め、下式で表した。

$$C_s = a H_s^b \quad \dots\dots\dots (35)$$

ただし、 a , b は最小自乗法で求めた常数で、それぞれ乾性立地で 15.8, 1.17 ($r^2 = 0.24$), 中性立地で 34.1, 0.641 ($r^2 = 0.54^{**}$), 湿性立地で 44.1, 0.324 ($r^2 = 0.16$) となった。

(35) 式の C_s は、ある下層植物群落高のときに期待される低木層植被率の最低値に当たる。一方、 C_s と草本層植被率 (C_h) との間には (1) 式で表される関係がある。(1), (35) 式から、

$$1/C_h = 1/A_c a H_s^b + 1/(100 - B_c a H_s^b) \quad \dots\dots\dots (36)$$

(35), (36) 式によって閉鎖林分の H_s から C_s の最低値及びそのときの C_h を推定できる (Fig. 70)。

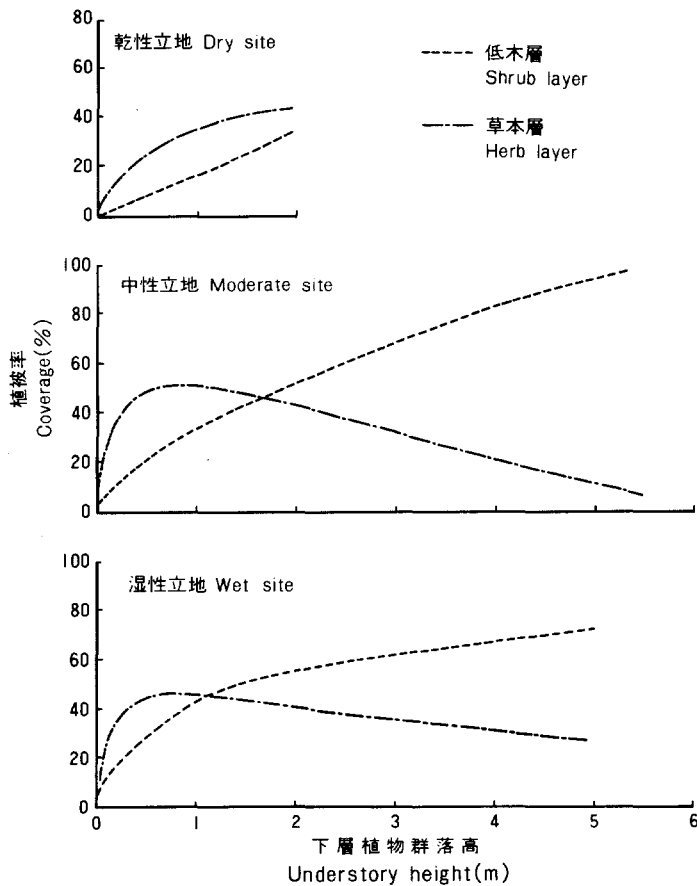


Fig. 70. 閉鎖したヒノキ人工林の下層植物群落高と低木層植被率の最低値及びそのときの草本層植被率の関係

Minimum coverage of shrub layer and the coverage of herb layer in relation to understory height in a closed stand of *Chamaecyparis obtusa*.

4.3 モデルから導かれる結論

以上の成果を合わせた下層植物群落の動態モデルをととして、下層植物群落の高さや低木層・草本層植被率の増加を推定し、かつ、保育条件及び乾湿条件がそれらに及ぼす影響を評価できる。そこで、下記の六つの場合を想定し、RLIa の経年変化と下層植物群落高の成長経過を推定した。ただし、推定の条件として、林分内の個体のサイズ差はないものとした。

無処理林分における動態

林齢の違いが間伐効果に及ぼす影響

若齢林分で林冠を閉鎖させない間伐・枝打

間伐率の違いが動態に及ぼす影響

枝打強度の違いが動態に及ぼす影響

乾湿条件の違いが間伐効果に及ぼす影響

4.3.1 無処理林分における動態

Fig. 2 の説明文中の式によって求めた HI と (20) 式とから a^* を計算し、立地区分別に林齢と RLIa との関係性を推定した (Fig. 71)。RLIa は高齢な林分ほど、そして立地が乾性であるほど高かった。ただし、後者の違いはわずかであった。RLIa は 20 年生林分では 1~2%，70 年生林分では 4~5% の範囲内にあった。

下層植物群落高は 40 年生を過ぎるころから顕著な成長を見せた (Fig. 72)。ところが、立地が乾性であるほど成長が良く、これは 2 章で明らかにした事実と反する。この原因は推定に中性立地の資料のみを用いたことにあると考えられる。立地区分ごとに推定値と実測値 (Table 1) とを比べた (Fig. 73) ところ、乾性立地の林分では平均 104% の過大、中性立地では平均 18% の過大、湿性立地では平均 38% の過小推定であった。回帰線からの偏差の大きさを考えに入れると中性立地での推定結果は満足す

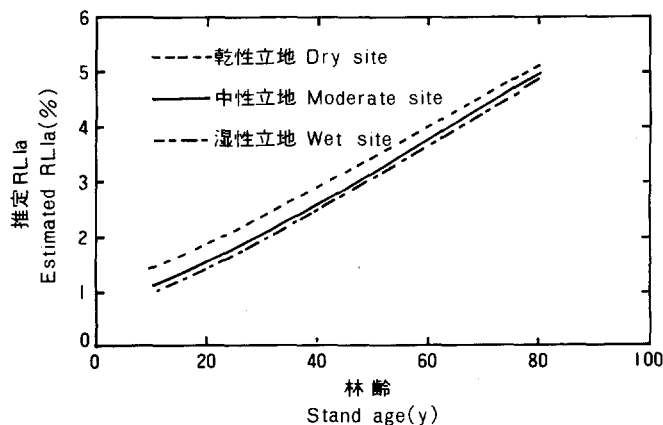


Fig. 71. 無処理のヒノキ人工林における立地区分別の林齢と RLIa の関係の推定
Estimation of RLIa in relation to site class and stand age in *Chamaecyparis obtusa* stands of control.

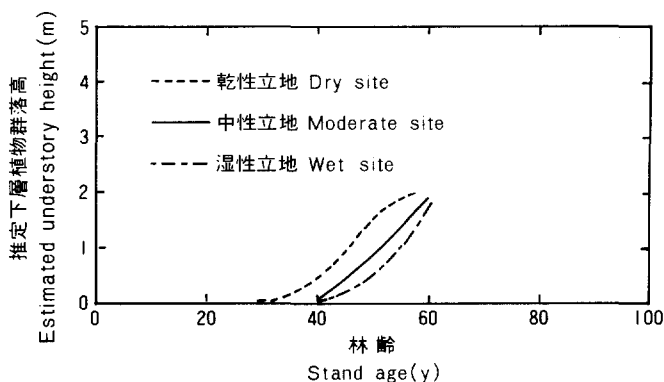


Fig. 72. 無処理のヒノキ人工林における立地区分別の林齢と下層植物群落高の成長の関係の推定

Estimation of height growth of understory in relation to site class and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations of control.

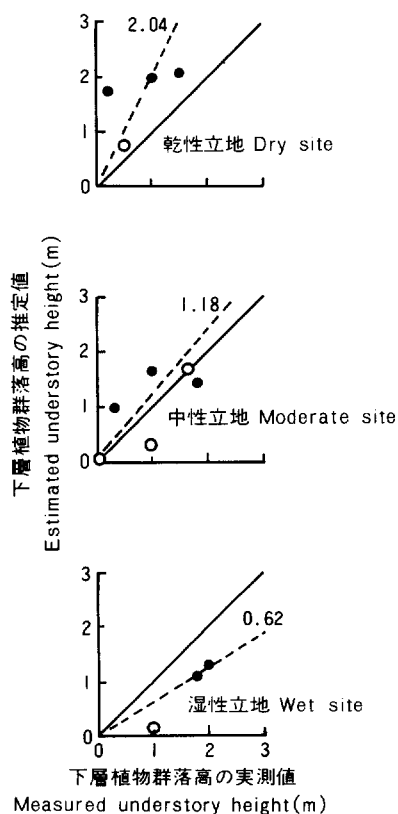


Fig. 73. ヒノキ人工林における下層植物群落高の推定値と実測値の関係

Relation between estimated values and measured ones of understory height in *Chamaecyparis obtusa* plantations.

● : 無処理林分 ○ : 間伐履歴を持つ林分
Control Thinned stand

実線は実測値と 1 : 1 の線、破線及び添え字は推定値の回帰線及びその傾きをそれぞれ表す

Broken lines were drawn by the equations obtained by the least square method. Figures attached to the lines are constants. Lines having 45° angle show the relation when the estimated values are same as the measured ones.

べきものである。しかし、ほかの立地では直す必要がある。中性立地を含めて直した（推定値に Fig. 73 中の回帰線の傾きの逆数：乾性立地 0.49, 中性立地 0.85, 湿性立地 1.61 をそれぞれかけた）結果を Fig. 74 に示した。なお、Fig. 73 には間伐林分の例を含めたが、間伐林分における推定は下記 4.3.2, 4.3.4, 4.3.6 の各方法によった。

4.3.2 林齢の違いが間伐効果に及ぼす影響

林齢の違いは (27), (31) 式の [HI] に影響を及ぼす。20, 40 及び 70 年生のモデル林分 [植栽本数 3 000 no./ha で、中性立地の樹高成長 (Fig. 2) をし、近畿・中国地方国有林ヒノキ林分密度管理図 (林野庁・日林協, 1980) の自然間引き線に従って本数減少する] に間伐直後の RLIIa が 5% となる間伐を行う場合を想定した。若い林分ほど強度な間伐となり、 t は小さく (Fig. 75) RLIIa は速く下がった (Fig. 76)。また、若い林分ほど再開鎖したときの RLIIa が低い。この結果、20 年生林分では下層植物群落高はほとんど成長できない (Fig. 77)。なお、Figs. 75~77 では間伐後の加齢による樹高成長の変化を無視した。

4.3.3 若齢林分で林冠を開鎖させない間伐・枝打

この 20 年生林分に間伐や枝打を繰り返し行い、林冠を閉じさせない場合を想定した。ここでは RLIIa を約 2~5% に保つ例を示す。

疎開が間伐によるときは、1 回目間伐後の平均占有面積を S_1 , n 回目のそれを S_n とすると、(27) 式の $[S/S_0]$ は 1 回目間伐では $[S_1/S_0]$, n 回目間伐では $[S_n/S_0]$ となる。また、1 回目間伐から n 回目間伐までの時間が短くその間に HI が変わらないと見なせるならば、 $[S_n/S_0]$ を代入して 1 回目間伐後の t を求められる。ただし、そのときの K は (26) 式の $[S]$ を $[S_n]$ におきかえて求める。 t から $1 \sim n$ 回目間伐の時間を差し引いたものが n 回目間伐以後の未閉鎖期間である。

疎開が枝打によるときは、 n 回目枝打後の樹冠長を CL_p とすると、(31) 式の $[C]$ は n 回目枝打

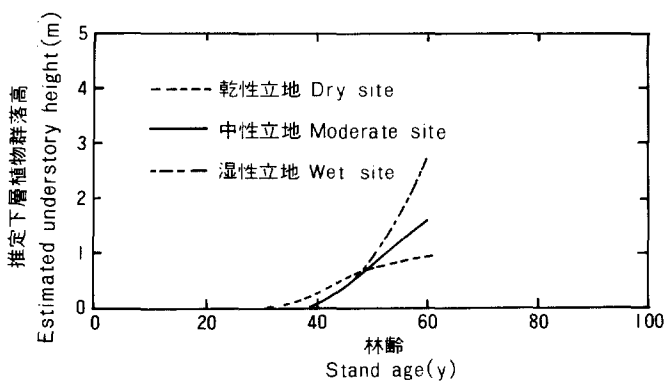


Fig. 74. 無処理のヒノキ人工林における乾湿条件別の林齢と下層植物群落高の成長の関係の推定

Estimation of height growth of understory in relation to site condition and stand age in *Chamaecyparis obtusa* plantations of control.

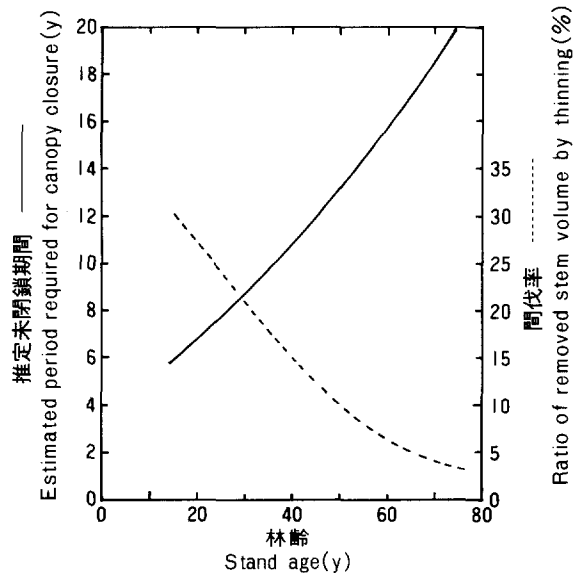


Fig. 75. ヒノキ人工林*の林齢が一定強度の間伐**における間伐率と未閉鎖期間に及ぼす影響の推定

Estimation of influence of stand age on the ratio of removed stem volume and a period required for canopy closure in *Chamaecyparis obtusa* plantations* where the thinning of a certain intensity** was practiced.

* 植栽本数 3 000 no./ha。中性立地の樹高成長 (Fig. 2) をし近畿・中国地方国有林ヒノキ林分密度管理図 (林野庁・日林協, 1980) の自然間引き線に沿って本数減少する。

Stand density at planting is 3 000 no./ha. Height growth is same as that on the moderate site (Fig. 2). Stand density decreases along the natural thinning curve of the stand density diagram applicable to *Chamaecyparis obtusa* stands of the national forest in Kinki·Chugoku district (Forest agency·Nitrinkyo, 1980).

** 間伐後の RLIIa 5%。

RLIIa just after the thinning is 5%.

で $[CL_p/CL_0]$ になる。1 回目枝打から n 回目枝打までの時間が短くその間に HI が変わらないと見なせるならば, $[CL_p/CL_0]$ を代入して n 回目枝打後の t が求められる。

間伐で 20 年生モデル林分の RLIIa を 2~5% に保つには, 材積率で 1 回目 27%, 2 回目以降は 23% の間伐を 5 年ごとに繰り返す (Fig. 78)。また, 枝打で同約 2~5% とするには 1 回目に樹冠長の 15% を打ち上げ, 2 回目以降は同 12% を打ち上げる枝打を 2 年ごとに繰り返す (Fig. 79)。その結果, 下層植物群落高は成長を続ける (Figs. 80, 81)。RLIIa をほぼ同じに保ちながら間伐と枝打とで下層植物群落高に違いが生じるのは, RLIIa と下層植物群落高成長とが正比例の関係にない (Fig. 66; ただし, 先の仮定のとおり, 下層植物群落高成長は地上部純生産量に正比例する) ためである。このように林冠を閉じさせなければ, 20 年生林分であっても下層植物群落を発達させることができる。なお, Figs. 78~81 では間伐, 枝打後の加齢による樹高成長の変化を無視した。

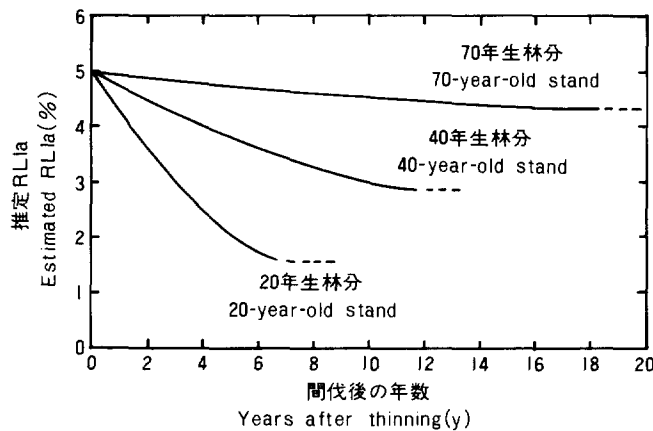


Fig. 76. ヒノキ人工林*の林齢が一定強度の間伐**後の RL1a の経年変化に及ぼす影響の推定

Estimation of influences of stand age on an annual change in RL1a after the thinning of a certain intensity** in *Chamaecyparis obtusa* plantations*.

*, ** Fig. 75 と同じ。

Same as Fig. 75.

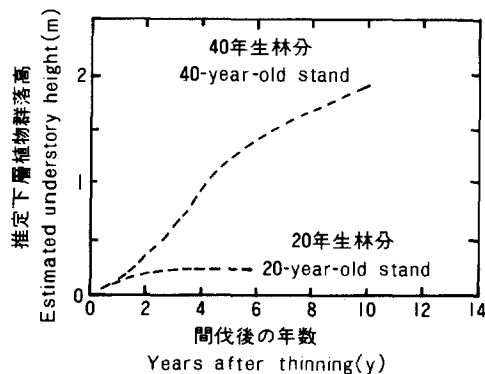


Fig. 77. ヒノキ人工林*の林齢が一定強度の間伐**後の下層植物群落高の成長に及ぼす影響の推定

Estimation of influences of stand age on annual height growth of understory after the thinning of a certain intensity** in *Chamaecyparis obtusa* plantations*.

*, ** Fig. 75 と同じ。

Same as Fig. 75.

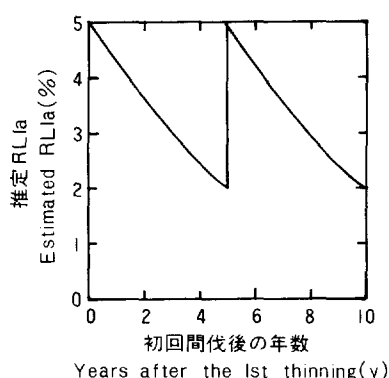


Fig. 78. 繰り返し間伐*した 20 年生ヒノキ人工林**における RLla の経年変化の推定

Estimation of an annual change in RLla in 20-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations** where the thinning is practiced repeatedly*.

* RLla を 2~5% に保つ。 ** Fig. 75 と同じ。
RLla is kept 2~5%. Same as Fig. 75.

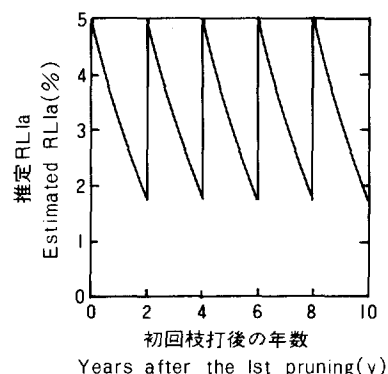


Fig. 79. 繰り返し枝打*した 20 年生ヒノキ人工林**における RLla の経年変化の推定

Estimation of an annual change in RLla in 20-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations** where the pruning is practiced repeatedly*.

* RLla をおよそ 2~5% に保つ。
RLla is kept about 2~5%.

** Fig. 75 と同じ。
Same as Fig. 75.

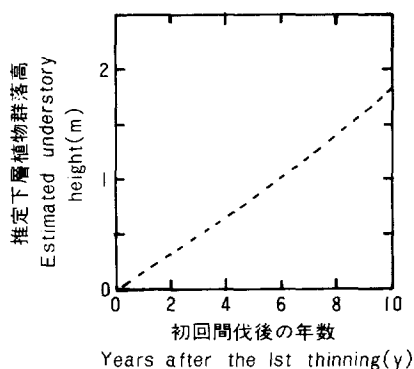


Fig. 80. 繰り返し間伐*した 20 年生ヒノキ人工林**における下層植物群落高の成長の推定

Estimation of height growth of understory in 20-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations** where the thinning is practiced repeatedly*.

* Fig. 78 と同じ。
Same as Fig. 78.

** Fig. 75 と同じ。
Same as Fig. 75.

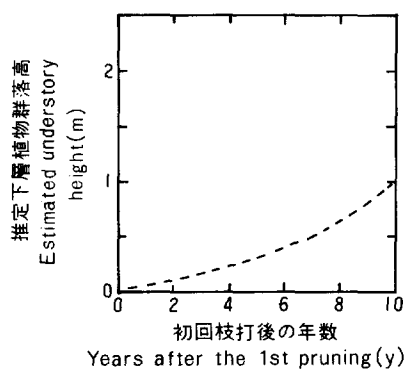


Fig. 81. 繰り返し枝打*した 20 年生ヒノキ人工林**における下層植物群落高の成長の推定

Estimation of height growth of understory in 20-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations** where the pruning is practiced repeatedly*.

* Fig. 78 と同じ。
Same as Fig. 78.

** Fig. 75 と同じ。
Same as Fig. 75.

4.3.4 間伐率の違いが動態に及ぼす影響

40年生のモデル林分について間伐強度が異なる場合を想定した。間伐強度の違いは(27)式の $[K]$ と $[S/S_0]$ に現れるが、間伐率が0を除く50%以下の場合には、(28)式にあるとおり、 t に影響を及ぼすのはCLとHI(ただし、 $HBI=0$ として)だけとなる。40年生のモデル林分では、間伐率が0を除く50%以下の場合、 t は11.2年に一定し、50%以上では間伐率が高いほど t も大きくなった(Fig. 82)。材積率で30, 20, 10及び0%の間伐を行った結果、RLIaは間伐率が高いほど高くなった(Fig. 83)。また、下層植物群落高も高くなった(Fig. 84)。なお、Figs. 82~84では間伐後の加齢による樹高成長の変化を無視した。

4.3.5 枝打強度の違いが動態に及ぼす影響

40年生のモデル林分で枝打強度が異なる場合を想定した。枝打強度の違いは(31)式の $[C]$ に現れ、枝打強度が強いほど t は大きくなる(Fig. 85)。樹冠長の30, 20, 10及び0%を打ち上げる枝打を行った結果、RLIaは枝打強度が強いほど高くなった(Fig. 86)。下層植物群落高も高くなった(Fig. 87)。なお、Figs. 85~87では枝打後の加齢による樹高成長の変化を無視した。

4.3.6 乾湿条件の違いが間伐効果に及ぼす影響

40年生のモデル林分と樹高成長以外はそれと同条件の乾性及び湿性立地の林分を想定し乾湿条件の

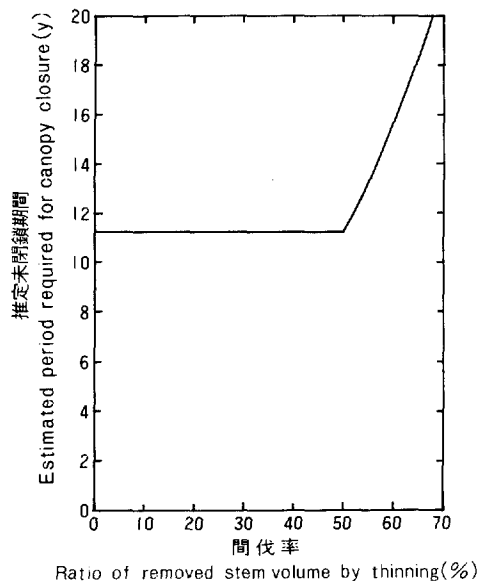


Fig. 82. 40年生ヒノキ人工林*における間伐率と未閉鎖期間の関系の推定
 Estimation of a period required for canopy closure in relation to ratio of removed stem volume by thinning in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations*.

* Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

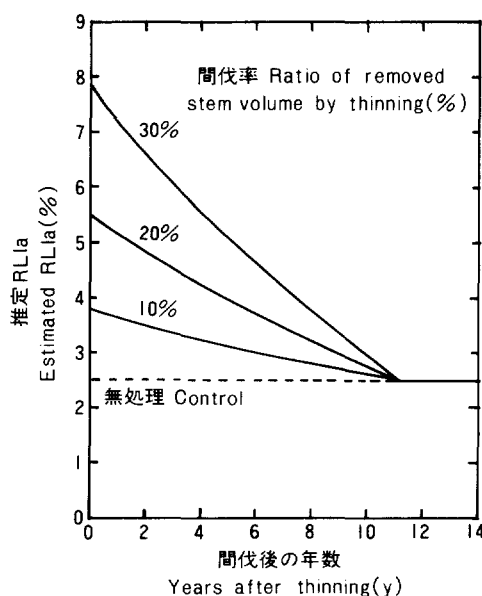


Fig. 83. 間伐率の異なる 40 年生ヒノキ人工林*における RLla の経年変化の推定
Estimation of annual changes in RLla in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations* where thinning of various intensity were practiced.

* Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

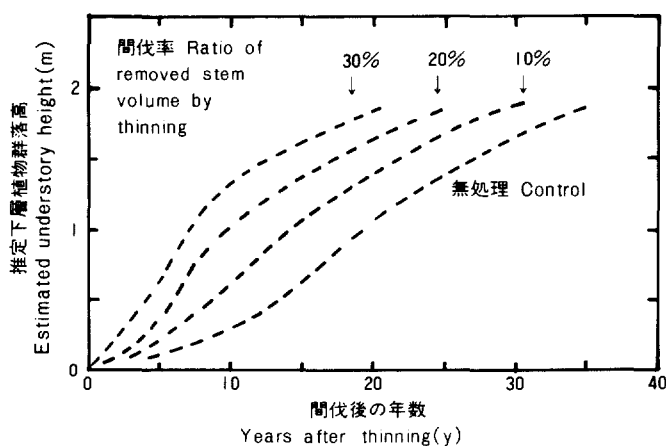


Fig. 84. 間伐率の異なる 40 年生ヒノキ人工林*における下層植物群落高の成長の推定
Estimation of height growth of understory in *Chamaecyparis obtusa* plantations* where thinning of various intensity were practiced.

* Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

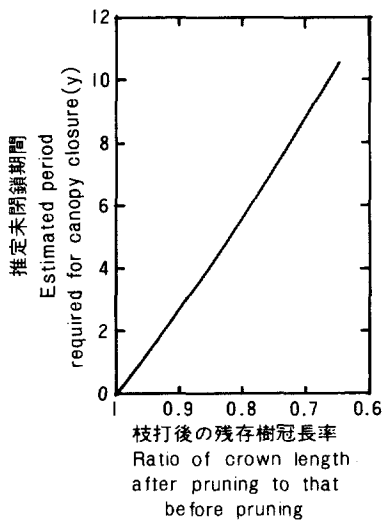


Fig. 85. 40年生ヒノキ人工林*における枝打強度と未閉鎖期間の関係の推定

Estimation of a period required for canopy closure in relation to pruning intensity in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations*.

* Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

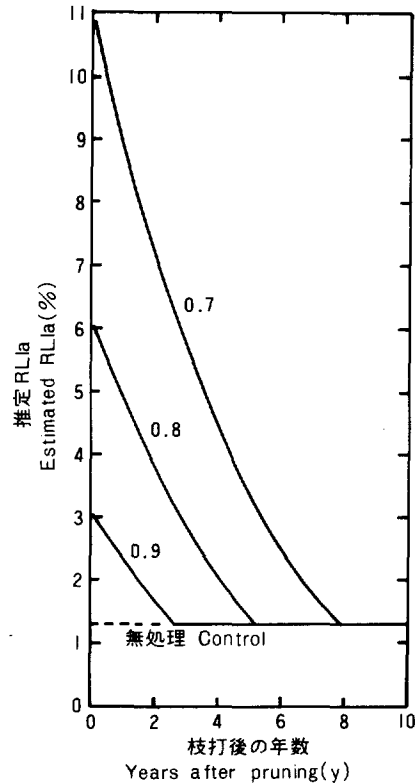


Fig. 86. 枝打強度の異なる40年生ヒノキ人工林*におけるRL1aの経年変化の推定

Estimation of annual changes in RL1a in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations* where thinning of various intensity were practiced.

* Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

図中の数字は枝打後の残存樹冠長率を示す。

Figures attached to lines show ratios of crown length after pruning to that before pruning respectively.

違いを検討した。乾湿条件の違いは(27), (31)式の[HI]に影響を及ぼす。各立地の林分に間伐直後のRL1aを5%とする間伐を行った結果、立地が乾性であるほど弱度の間伐となり、 t が大きく(Fig. 88)間伐後のRL1aの低下が遅れた(Fig. 89)。ただ立地間の違いは小さかった。乾湿条件の影響を4.3.1と同じ方法で表し、下層植物群落高の成長を推定したところ、立地が湿性なほど下層植物群落高は高くなった(Fig. 90)。なお、Figs. 88~90では、間伐後の加齢による樹高成長の変化を無視した。

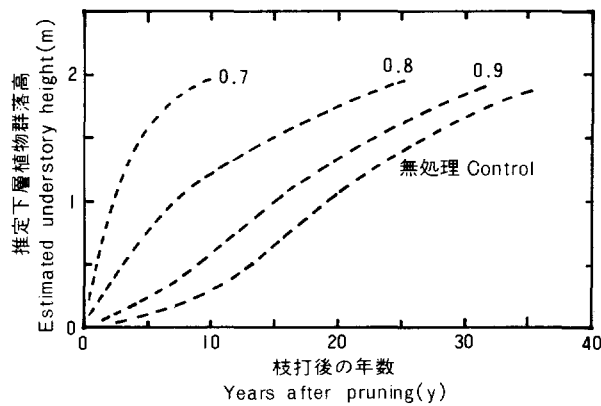


Fig. 87. 枝打強度の異なる 40 年生ヒノキ人工林*における下層植物群落高の成長の推定
Estimation of height growth of understory in *Chamaecyparis obtusa* plantations* where pruning of various intensity were practiced.

* Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

図中の数字は枝打後の残存樹冠長率を示す。

Figures attached to lines show ratios of crown length after pruning to that before pruning respectively.

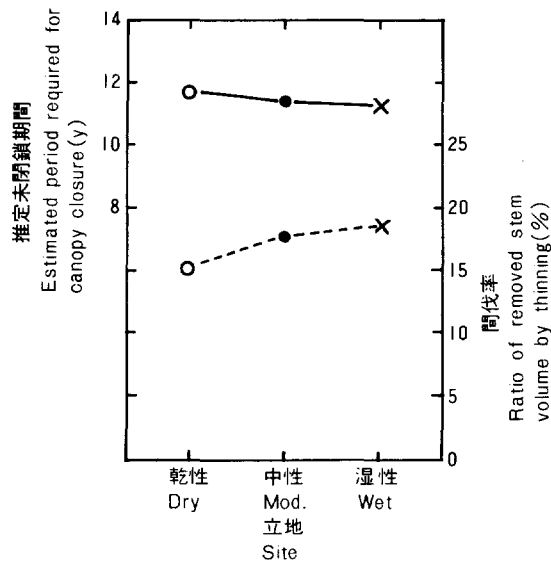


Fig. 88. 40 年生ヒノキ人工林*の乾湿条件が一定強度の間伐**における間伐率と未閉鎖期間に及ぼす影響の推定

Estimation of influence of site condition on the ratio of removed stem volume and a period required for canopy closure in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations* where the thinning of a certain intensity** was practiced.

* 乾性～湿性各立地の樹高成長は Fig. 2 と同じ。ほかは Fig. 75 と同じ。

Height growth in each site class is same as Fig. 2. Others are same as Fig. 75.

** Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

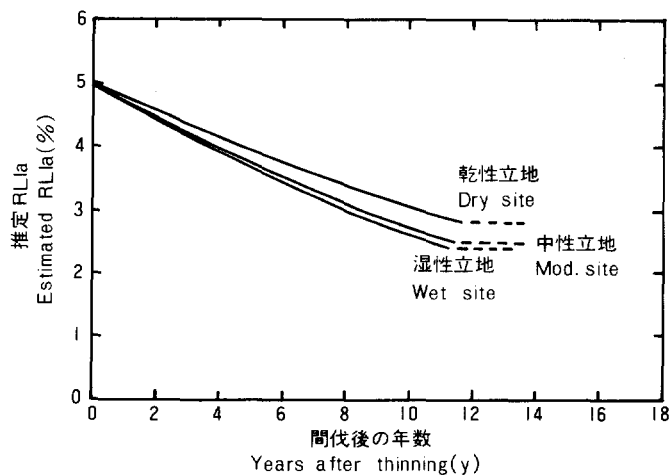


Fig. 89. 40年生ヒノキ人工林*の乾湿条件が一定強度の間伐**後のRLIaの経年変化に及ぼす影響の推定

Estimation of influence of site condition on annual changes of RLia in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations* where the thinning of a certain intensity** was practiced.

* Fig. 88 と同じ。Same as Fig. 88.

** Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

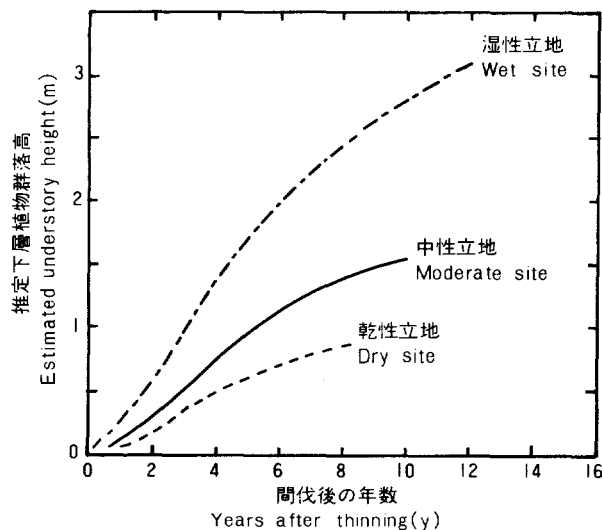


Fig. 90. 40年生ヒノキ人工林*の乾湿条件が一定強度の間伐**後の下層植物群落高の成長に及ぼす影響の推定

Estimation of influence of site condition on height growth of understory in 40-year-old *Chamaecyparis obtusa* plantations* where the thinning of a certain intensity** was practiced.

* Fig. 88 と同じ。Same as Fig. 88.

** Fig. 75 と同じ。Same as Fig. 75.

4.4 考 察

本研究では、林冠の閉鎖程度と RLIIa 及び再閉鎖速度の 3 者の関係を示すために、3 種の新しい関係線 [林冠閉鎖線]、[等末閉鎖期間線] 及び [等照度線] を求めた。それによって、これまでは経験に頼らざるを得なかった間伐や枝打後の RLIIa の経年変化の推定や希望の状態を達成、保持するための樹冠管理（間伐、枝打あるいは両者の組み合わせの強度と頻度）の検討に有力な根拠と検証の基準を与えることができた。また、MONSI・OSHIMA (1955) の考え方を発展させて任意の RLIIa 下の下層植物群落高成長を推定することを可能にし、さらに、下層植物群落高と低木層・草本層植被率との関係をとおして植被率の増加を一部について推定することを可能にした。

そして、これらの成果を合わせた下層植物群落の動態モデルによって、種々の保育条件及び乾湿条件下の RLIIa と下層植物群落高の経年変化を推定し、無処理林分では 40 年生を過ぎるころから RLIIa が増し下層植物群落高が高まる、林冠疎開によって成長は促されるが若齢林分では効果が少ない、さらに、成長には乾湿条件が影響を及ぼしている、などのことを示した。

一方、林冠疎開後の RLIIa の経年変化は、これまでにいくつかの樹種あるいは性質の似た種群で調べられている（複層林施業班, 1983）。ヒノキ林（安藤ほか, 1983；早稲田, 1983；上中・尾方, 1983）では下記 [A]～[D] が知られている。

[A] 若い林ほど林冠疎開後の RLIIa の低下が速い。

[B] 地位が高いほどやはり速く下がる。

[C] 間伐、枝打直後ほど速く下がり、その後は経年的に遅くなる。

[D] 過密林分や疎開林分より、中間的に閉鎖した林分で速く下がる。

ここで、疎開林分とは RLIIa 50% 以上、中間的に閉鎖した林分とは同 10～40% のものである（早稲田, 1983）。

これらと本モデルの推定結果 4.3.1～4.3.6 とを比べると、[A]、[B] はそれぞれ 4.3.2、4.3.6 の内容と合うので、ともに林分の樹高成長の違いによる結果と考えられる。また、[C] の傾向は 4.3.2～4.3.6 のいずれにおいても現れていた。[D] は比べられる推定結果が得られず検討できなかったが、[C] と [D] とを比べると、[C] は [D] の全傾向のうちの中間的閉鎖から過密状態までの、部分的傾向を表していると考えられる。もしそうであるならば、林冠を強く疎開すると RLIIa の低下は初めは遅く、中間で速く、再閉鎖完了が近づくに従い再び遅くなる。早稲田（1983）や安藤ほか（1983）もこの推測を裏づける観察をしており、弱～中度の枝打や間伐では RLIIa がすぐ下がるのに、ごく強度の処理では低下の時期が遅れるとしている。林冠を強く疎開された林分で RLIIa の低下が遅れる理由は、単木当たりの葉量増加量は大きくとも林分密度が低ければ林分当たりの増加量はそれほど増えないこと（早稲田, 1983）や、急な疎開が樹冠の成長を一時滞らせることにあと考えられる。

つぎに、早稲田（1975）は RLIIa と雑草木の繁茂及び樹下植栽木の成長との関係を解析して無下刈でも樹下植栽木が枯れず健全に育つ RLIIa 範囲をスギ・ヒノキ幼齢林で 20% 以下、同壮齢林で 25% 以下とし、同様に蜂屋・安藤（1982）は複層林施業において RLIIa 20% 以下では下刈が要らず、同 30～40% で必要としている。つまり、RLIIa 20～25% を境に下刈の要否が分れる。

これは先に述べた本モデルの推定結果, すなわち, 下層植物群落高の成長は RL1a が 3 あるいは 10 % の林内ではスギ樹高のそれに劣り, RL1a が 20 % の林内ではスギと同程度まで旺盛となる (Figs. 67, 68) こととほぼ合う。従って, RL1a によって下刈の要否が分かれる理由は, RL1a が 20 % 辺りを境にそれ以上では陽性植物 (Table 27) の純生産量が急に増す (Fig. 66) ことにある。RL1a が増すに従い陽性植物は急激に繁茂するが, スギは成長がそれほど増さず被壓されてしまう。

以上のとおり, モデルによる推定結果は, ヒノキ林の林冠閉鎖や林内雑草木の下刈要否にかかわるこれまでの断片的な知見を系統的によく説明するものであった。

最後に, 土地生産力の低下を防ぐという目的に照らして, 現実林分の下層植物群落を望ましい状態に導くための方法を述べる。

まず, 望ましい下層植物群落の状態とはどのようなものかという問題がある。2 章で明らかにしたとおり, リターや土の流亡を妨げるという点では草本層が大きな働きをしている (Table 6, Fig. 14)。また, 草本層が発達すると植物の種も豊かになる (Fig. 26)。従って, 草本層を失わせないことが一つの目安になる。

草本層は乾湿条件によって多少異なるものの下層植物群落高が 0.5~2 m のときに最も発達する (Fig. 70)。下層植物群落高がより高くなると低木層植被率が増し地面付近が暗くなる (Fig. 6) ので, 草本層は衰えるおそれがある。従って, 下層植物群落高が 0.5~2 m になるまではその発達を促し, それを超えてからは下刈などを行って低木層の発達を抑えることが望ましい。下刈によって林床が無植被になるおそれはまずない (Figs. 27~30)。

40 年生* 未満のヒノキ林をそのままにしておくと, 林内が暗くなり下層植物群落が失われる。従って, 40 年生未満の林分では短い間隔で間伐や枝打を行って林冠を閉じさせない必要がある。

一方, 40 年生* 以上の林分では無手入れでも下層植物群落が発達する。ただその速度は遅いので, 発達の初期段階にある林分では間伐や枝打を施し, 発達を促すことが望ましい。

以上述べたとおり, 下層植物群落の動態モデルは乾湿条件や林齢, 保育条件の異なる様々な林分に対してよく当てはまる。本モデルによって, 下層植物群落の高さ及び低木層・草本層植被率の変化を推定し, かつ保育履歴及び乾湿条件がそれらに及ぼす影響を評価し, さらに, 下層植物群落の状態を変える適切な保育方法を検討することがはじめて可能になった。

4.5 摘 要

(1) 下層植物群落の生育の第一要因である光は, 林冠構造を変えてその状態を容易に変えることができる。林内日射量の制御に応用される林内相対照度の表示方法は, 林冠量との関係を適切に表し, 間伐や枝打が林冠量に及ぼす影響を予測でき, 間伐や枝打後の林冠量の経年変化を予測できる, という要件を備えるべきであるが, これまでの表示方法にそれを満たすものはなかった。そこで樹冠構造に基づく

* 40 年生ごろを境にヒノキ林の状態は種々変わる。直接の原因は林冠葉量の減少 (Fig. 3) にあるが, おおもとは林分の樹高成長の衰えにあると考えられる。前述のとおり, 林冠葉量は林分の樹高成長の増大に対し飽和曲線で表される関係にあり, 上限を持つ (Fig. 4)。樹高成長がある値以下になると減る。林分の樹高成長は林齢が増すに従い一般に衰えるので, ある時期から林冠葉量は減り続けることになる。調査林分では 40 年生ごろがその時期に当たる。

表示方法の必要性を述べた。また、種々の目的を持った林冠の保育を樹冠管理と呼んだ。

(2) 16, 31及び73年生林分で樹冠構造を調べた。樹冠を円錐で近似させると、樹冠形は樹冠頂角 (2P)、樹冠基底面積 (S') (閉鎖林分では樹冠占有面積 (S) に等しい)、樹冠長 (CL) のうちの任意の二つで表せる。林分平均の樹冠頂角は林分の年平均樹高成長量 (HI) が小さいほど大きい。

以上の関係によって (18) 式,

$$CL = 0.56 A^{-1} HI^B S'^{0.5}$$

が成り立つ。ただし、A, B は常数。任意の HI と S' の組み合わせに対し最長の CL があり、そのとき林冠は閉じる。ここで、(19) 式,

$$a^* = CL S'^{-0.5}$$

とおくと、閉鎖林分では $S = S'$ なので、 a^* はその最大値 $0.56 A^{-1} HI^B$ をとる。林冠が疎開するにつれて値は小さくなる。 a^* は林冠の閉鎖程度を表す指数と考えられる。 a^* と林冠葉量や枝量及び純生産量など林冠木の諸量との間にはそれぞれ密接な関係があった。

(3) HIクラスごとに最大の a^* を結んだ線は、ある HI 及び林分密度では平均樹冠長がそれ以上長くなれないという限界の長さを結んだ線といえる。これを [林冠閉鎖線] と呼び、林冠の閉鎖程度を表す基準とする。

(4) 林冠疎開後の未閉鎖期間 (t) は、疎開が間伐によるときはつぎの (27) 式で与えられる。

$$t = KCL_0 [(S/S_0)^{0.5} - 1] / (HI - HBI)$$

ただし、 $K \geq 1$ 。K は林冠空隙の分布の偏りが大きいほど大きな値をとる。 CL_0 , S_0 はそれぞれ CL, S の疎開前の値、HBI は年平均枝下高上昇量。特に間伐率が 50% 以下のときは、つぎの (28) 式,

$$t = 0.4142 CL_0 / (HI - HBI)$$

のとおりとなり、t は間伐率と無関係になる。

疎開が枝打あるいは枝打+間伐によるときの t はつぎの (31) 式で与えられる。

$$t = KCL_0 [(S/S_0)^{0.5} - C] / (HI - HBI)$$

ただし、 CL_p を枝打後の樹冠長としたとき、 $C = CL_p / CL_0$ 。

一定の HI クラス及び未閉鎖期間クラスごとに、等しい未閉鎖期間を与える林分密度及び平均樹冠長の組み合わせを a^* を仲立ちにして求め、それらを結んだ線群を [等未閉鎖期間線] と呼んだ。[等未閉鎖期間線] によって HI と S 及び CL から未閉鎖期間や林冠の再閉鎖過程を推定できる。

(5) a^* と HI (m/y) 及び RLla (%) との間にはつぎの (32)~(34) 各式の関係が認められた。

$$1/a^* = 1/M \log (RLla/100) + 1/N$$

$$M = -2.845 HI^{-0.05698}$$

$$N = 4.963 HI^{0.1241}$$

M はその値が小さいうちの a^* の増加に対する RLla の減衰率に、N は a^* の最大値にそれぞれ当たる。

一定の HI クラス及び RLla クラスごとに、等しい RLla を与える林分密度と平均樹冠長の組み合わせを a^* を仲立ちにして求め、それらを結んだ線群を [等照度線] と呼んだ。[等照度線] によって

HI と S 及び CL から RL1a を推定できる。

(6) HI クラスごとに [林冠閉鎖線], [等末閉鎖期間線] 及び [等照度線] をまとめて図示したものは, HI と S 及び CL から RL1a の経年変化を予測する図として, また, RL1a のコントロールに必要な樹冠管理を選ぶ図として使える。これを林内相対照度の予測図と呼んだ。

(7) 16, 31 及び 70 年生の林分で RL1a と下層植物群落の高さ及び植被率を経年的に調べ, また, 70 年生林分で RL1a と下層植物群落の地上部純生産量との関係を求めた。それらの結果と MONSI・OSHIMA (1955) を発展させた方法とによって, 任意の RL1a 下の下層植物群落高の成長を推定した。また, 閉鎖林分の下層植物群落について, 高さと低木層・草本層植被率との間に一定の関係を認めた。

(8) 以上の成果を合わせた下層植物群落の動態モデルによって, 種々の保育条件及び乾湿条件の下での RL1a と下層植物群落高の経年変化を推定し, 無処理林分では 40 年生以降に下層植物群落高が増大する, 林冠疎開によって成長は促されるが若齢林分では効果が少ない, さらに, 成長には乾湿条件が影響を及ぼしている, などのことを示した。

(9) これらの推定結果をヒノキ林の林冠疎開や林内雑草木の下刈にかかわるこれまでの知見と照らし合わせ, 本モデルを検証した。

(10) 土地生産力の低下を防ぐという目的に照らして, 下層植物群落を望ましい状態に導くための方法を示した。

(11) 下層植物群落の動態モデルは, 乾湿条件や林齢, 保育条件の異なる様々な林分に対してよく当てはまる。下層植物群落の高さ及び低木層・草本層植被率の変化を推定し, かつ, 保育履歴及び乾湿条件がそれらに及ぼす影響を評価し, さらに, 下層植物群落の状態を変える適切な保育方法を検討することが, 本モデルによってはじめて可能になった。

謝 辞

この研究を進めるに当たり, 林業試験場の勝田 征造林部長（現：森林総合研究所企画調整部長）, 藤森隆郎造林第2研究室長（現：同所育林技術科長）, 谷本丈夫植生研究室長（現：同所更新機構研究室長）, 横山敏孝遺伝育種第3研究室長（現：同所多摩森林科学園樹木研究室長）, 緒方 健組織研究室長（現：同所木材特性科長）にはご指導, ご教示を賜った。現地調査や取りまとめにおいては, 東京営林局笠間営林署の各位, 茨城県新治郡八郷町の鈴木 豊氏と鈴木多計男氏, 林業試験場造林第2研究室の大原偉樹技官（現：同所東北支所）, 遠藤利明技官（現：同所生産技術部）, 飯盛 功技官（現：同所生産技術部）, 桂田ひとし技官（現：同所多摩森林科学園）, 千葉幸弘技官（現：同所生産技術部）, 高田節子氏, 杉沼美佐子氏, 森林総合研究所関西支所の河原輝彦造林研究室長（現：東北支所育林部長）, 井鷲裕司技官のご協力をいただいた。また, 論文を取りまとめるに当たっては, 東京大学農学部濱谷稔夫教授（現：東京農業大学）のご指導を賜り, 草稿のご校閲にあずかった。これらの方々に心よりお礼を申し上げる。

引用文献

- 赤井龍男, 吉村健次郎, 真鍋逸平, 相場芳憲, 杉浦孝三: 尾鷲地方ヒノキ林の保育過程における林地保全 (I) — 林内植生の変化 —, 91 回日林論, 303~304 (1980)
- 赤井龍男, 吉村健次郎, 真鍋逸平, 有光一登, 相場芳憲, 杉浦孝三: 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌等の流出移動について (II) — 下層植生の成立状態の異なる若齢林分のリター, 表層土壌の移動量 —, 92 回日林論, 213~215 (1981)
- 赤井龍男, 吉村健次郎, 真鍋逸平, 上田晋之助: ヒノキ林分の構成状態と稚樹, 下層植生の成立状態について, 92 回日林論, 221~222 (1981)
- 赤井龍男, 吉村健次郎, 真鍋逸平, 相場芳憲, 杉浦孝蔵, 石井 弘, 本城尚正: 人工降雨による林内の落葉, 土壌等の流出移動 (X) — ヒノキ, スギ実験対象林分の概況と降水量, 表面流出水の分散 —, 94 回日林論, 407~408 (1983)
- 明永久次郎: 尾鷲地方ヒノキ林の施業, 山林, 690, 8~13 (1941)
- 安藤 貴: 全天空写真による林冠の開空度の測定, 林試研報, 323, 4~8 (1983)
- 安藤 貴, 蜂屋欣二, 土井恭次, 片岡寛純, 加藤善忠, 坂口勝美: スギ林の保育形式に関する研究, 林試研報, 209, 1~76 (1968)
- 安藤 貴, 宮本倫仁: 二段林下木の光環境 (2) — 相対照度の測定 —, 22 回日林関西支講, 31~33 (1971)
- 安藤 貴, 宮本倫仁, 桜井尚武, 竹内郁雄, 谷本丈夫: 二段林の光環境の経年変化, 林試研報, 323, 65~73 (1983)
- 有光一登, 小林繁男, 加藤正樹, 荒木 誠, 宮川 清: 間伐による炭素・窒素の変動, 農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究 (グリーンエネルギー計画) 昭和 60 年度研報, 農林水産技術会議, 210~211 (1986)
- BRAUN-BLAUNQUET, J: Pflanzensoziologie, Springer-Verlag, 865 pp. (1964) (ブラウン-ブランケ植物社会学 I, II (鈴木時夫訳)), 朝倉書店, 353 pp., 329 pp. (1971)
- 近嵐弘栄, 坪山良夫, 竹内信治: 森林の間伐と水収支, 水資源に関するシンポジウム第 3 回前刷集, 水資源に関するシンポジウム委員会, 589~594 (1987)
- 藤森隆郎: 森林生態系における生産環境の維持向上, 昭和 63 年度森林総研研成講要, 22~25 (1988)
- 藤森隆郎, 清野嘉之: スギ閉鎖若齢林の林冠構造と林内照度, 94 回日林論, 343~344 (1983)
- 藤森隆郎, 清野嘉之, 遠藤利明: 施業技術の類型化と省エネルギー的改善, [中部地域における自然エネルギーの効率的利用による栽培植物生産システムの開発], グリーンエネルギー計画成果シリーズ V 系 (生産技術), 2, 農林水産技術会議, 364~391 (1989)
- 複層林施業研究班: 林業試験場プロジェクト研究 [人工林の複層林施業に関する研究], 林試研報, 323, 1~218 (1983)
- 蜂屋欣二, 安藤 貴: スギ・ヒノキ・スギ・ヒノキ, 複層林の施業技術, 日林協, 108~140 (1982)
- 服部重昭, 近嵐弘栄, 竹内信治, 平 和敬: 間伐による熱・水分環境の変動, 農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究 (グリーンエネルギー計画) 昭和 58 年度研報, 農林水産技術会議, 234~235 (1984)
- HERMERS, A.E.: Effect of pruning on growth of western white pine, J. For., 44, 673-676 (1946)
- 本多静六: 造林学要論, 三浦書房, 698 pp. (1928)
- 井上輝一郎, 岩川雄幸, 吉田桂子: ヒノキ壮齢林における落葉の移動, 林試四国年報1982, 22~24

(1982)

- 伊藤修三：群落の組成研究，[群落の組成と構造]（伊藤修三編），朝倉書店，1～75（1977）
- 岩田好宏：枝の生長と葉屑の展開について—その断片的知見—，房総丘陵清澄山・高宕山地域の自然とその人為による影響，2，房総の自然研究会，80～83（1973）
- 上中作次郎，尾方信夫：ヒノキ林における相対照度の経年変化，林試研報，323，60～64（1983）
- 環境庁編：日本の重要な植物群落（北関東版），大蔵省印刷局，219pp.（1980）
- 荻住 昇，寺田正男：ヒノキ林の地下部の構造，95 回日林論，337～338（1984）
- 片桐成夫，石井 弘，有光一登，上田晋之助，赤井龍男，薬師寺清雄：人工降雨によるヒノキ林内の落葉，土壤等の流出移動（Ⅳ）—スギ，ヒノキ林の土壤の諸性質と移動物質の化学的特性—，93 回日林論，351～353（1982）
- 河原輝彦：人工被陰下の植栽木と樹下植栽木の生長比較，林試研報，323，133～134（1983）
- 川名 明，高原末基，松永栄夫，久保 勇，平山 仁，青沼和夫：尾鷲地方におけるヒノキ林林地保護に関する研究（第1報）ヒノキ成林地における表面土壌流亡の防止試験，74 回日林講 126～129（1963）
- 川那辺三郎：陽光と樹木，[森そのしくみとはたらき]（只木良也・赤井龍男編），共立出版，42～49（1974）
- 河野昭一（編）：植物の生活史と進化-2 林床の個体群統計学，培風館，183 pp.（1984）
- KAWANO, S., J. MASUDA, H. TAKASU and F. YOSHIE: The productive and reproductive biology of flooring plants, J. Coll. Lib. Arts, Toyama Univ., 16, 31-65（1983）
- 吉良龍夫：日本の森林帯，林業解説シリーズ，17，日林協，42 pp.（1949）
- 清野嘉之：60 年生ヒノキ林における下層木本植物の齡構成，22 回日雑草講要，141～142（1983）
- 清野嘉之：若いヒノキ林における下層植生の動態，97 回日林論，249～250（1986）
- 清野嘉之：人工林の下層に生育する木本植物の動態と齡の測定（Ⅰ）木本植物の動態と齡の測定，38 回日林関西支講，149～152（1987 a）
- 清野嘉之：人工林の下層に生育する木本植物の動態と齡の測定（Ⅱ）齡構造の事例，38 回日林関西支講，153～154（1987 b）
- 清野嘉之：ヒノキ人工林における下層植物群落の制御モデル，林試関西支場研究情報，6，p. 4（1987 c）
- 清野嘉之：ヒノキ人工林の A_0 層被覆率に影響を及ぼす要因の解析，日林誌，70（2），71～74（1988 a）
- 清野嘉之：ヒノキ人工林の下層植物群落の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析，日林誌，70（10），455～460（1988 b）
- 清野嘉之，藤森隆郎：ヒノキ人工林における下層植物群落の制御モデル，林試成果選集1986，10～11（1987）
- 清野嘉之，藤森隆郎，千葉幸弘，桂田ひとし：間伐による林分構造と物質生産の変化—林冠構造の解析に基づく把握，グリーンエナジー計画成果シリーズⅢ系（生産環境），5，農林水産技術会議，75～88（1989）
- 清野嘉之，藤森隆郎，遠藤利明，飯盛 功，金沢洋一：間伐による林分構造と物質生産の変化 [最適生産環境の作出—耕地，林地，河川—]，グリーンエナジー計画成果シリーズⅢ系（生産環境），2，農林水産技術会議，140～147（1987）
- 清野嘉之，藤森隆郎，加茂皓一，金沢洋一：14 年生スギ林における樹冠構造と幹の生長，94 回日林論，335～336（1983）
- 清野嘉之，加茂皓一，金沢洋一，飯盛 功，藤森隆郎：ヒノキ人工林の施業歴と下層植生の発達，31

- 回日生態講要集, 95 (1984)
- 清野嘉之, 金沢洋一, 遠藤利明, 藤森隆郎, 大原偉樹: ヒノキの幹の高さ別肥大生長の季節変化, 95 回日林論, 343~344 (1984)
- 河野良治, 難波宣士: 林地からの土砂流出についての 1 測定, 75 回日林講, 457~459 (1964)
- 国安哲郎: 天城地方におけるスギ造林地一代二代林分の生長比較, 林業技術, 247, 25~26 (1962)
- 黒鳥 忠: 森林土壌の生成と地力, わかりやすい林業研究解説シリーズ, 25, 林業科学技術振興所, 48 pp. (1967)
- LARCHER, W.: Physiological Plant Ecology, Springer-Verlag, 252 pp. (1975)
- 前田禎三, 宮川 清: 林床植物による造林適地の判定, わかりやすい林業研究解説シリーズ, 40, 林業科学技術振興所, 90 pp. (1970)
- MAHMOUD, A.: A laboratory approach to ecological studies of the grasses *Arrhenatherum elatius* (L.) Beauv. ex J. and C. Presl, *Agrostis tenuis* Sibth. and *Festuca ovina* L., Ph. D. Thesis, Univ. of Sheffield., U. S., (1973)
- 松下規矩: 林学の饗宴—林学における二・三の原論的考察—, 東京緑友会, 281 pp. (1953)
- 宮脇 昭 (編): 日本の植生, 学習研究社, 535 pp. (1977)
- 宮本倫仁, 谷本丈夫, 安藤 貴: 四国地方におけるヒノキ人工林の生長解析, 林試研報, 309, 89~107 (1980)
- MONSI, M. and Y. OSHIMA: A theoretical analysis of the succession process of plant community, based upon the production of matter, Jap. J. Bot., 15, 60-82 (1955)
- MORIKAWA, Y., S. HATTORI and Y. KIYONO: Transpiration of a 31-year-old *Chamaecyparis obtusa* Endl. stand before and after thinning, Tree Physiology, 2, 105-114 (1986)
- MORTIMER, A.M.: Studies of germination and establishment of selected species with special reference to the fate of seeds, Ph.D. Thesis, Univ. College of North Wales, U.S., (1974)
- 日本気象協会: 茨城県気象月報, (1966~1975, 1984, 1985)
- 沼田 真, 林 一六, 小林登志子, 大木 薫: 遷移からみた埋土種子集団の解析 I, 日生態誌, 14 (5), 207~215 (1964)
- 布谷知夫: 林床植生の構造と動態 (I) 大枝ヒノキ林における齡構成と分布様式, 大阪市立自然史博物館研報, 31, 1~11 (1978)
- 布谷知夫: 林床植生の構造と動態 (II) 上賀茂ヒノキ林における齡構成と構造, 大阪市立自然史博物館研報, 32, 19~29 (1979)
- 及川 修: 斜面に生育するヒノキ林の土と有機物の地表面移動量, 日林誌, 59 (5), 153~158 (1977)
- 尾中文彦: 樹木の肥大生長の縦断的配分, 京演報, 18, 1~53 (1950)
- 大沢重雄: 筑波山およびその周辺の気象 [筑波山自然公園学術調査報告], 日本自然保護協会調査報告, 24, 日本自然保護協会, 5~24 (1966)
- 林野庁, 日林協: 近畿・中国地方国有林ヒノキ林分密度管理図, 7pp. (1980)
- 林野庁, 林業試験場: 関東地方ひのき林分収穫表調整説明書, 収穫表調整に関する研究報告, 27, 252 pp. (1961)
- 斉藤秀樹: ヒノキ人工林生態系の物質生産機構, [ヒノキ林その生態と天然更新] (四手井綱英ほか共著), 地球社, 49~131, 150~210 (1974)
- 斉藤登志雄: 筑波山付近の地形および地質 [筑波山自然公園学術調査報告], 日本自然保護協会調査報告, 24, 日本自然保護協会, 25~32 (1966)

- 佐々木 豊：石巻市牧山におけるモミ・ブナ林とヒノキ人工林の比較（予報），[吉岡邦二博士追悼植物生態論集]，307～317（1978）
- 佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産 Ia—森林—，生態学講座，5 a，共立出版，95 pp.（1973）
- 四手井綱英：森林保育と生態，実践林業大学，Ⅲ，農林出版，184 pp.（1967）
- SHINOZAKI, K, K. YODA, K. HOZUMI and T. KIRA : A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory. I. Basic analyses, Jap. J. Ecol., 14 (3), 97-105 (1964 a)
- SHINOZAKI, K, K. YODA, K. HOZUMI and T. KIRA : A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory. II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology, Jap. J. Ecol., 14 (4), 133-139 (1964b)
- SPURR, S.H. : Forest Inventory, 476 pp. (1952)
- 杉浦孝蔵：植生導入に関する試験，[吉野・尾鷲地方における既成造林地の地力維持と増進に関する研究]（川名 明編），昭和 37 年度農林漁業試験研究費補助金による報告書，46～50（1962）
- TADAKI, Y. : Leaf biomass, In [Primary Productivity of Japanese Forest] (Ed. by T. SHIDEI and T. KIRA), JIBP Synthesis, 16, University of Tokyo Press, 39-44 (1977)
- 只木良也，蜂屋欣二：森林生態系とその物質生産，わかりやすい林業研究解説シリーズ，29，林業科学技術振興所，177pp.（1968）
- 田川日出夫：植生の再生産調査法，[生態遷移研究法]（田川日出夫・沖野外輝夫共著），生態学研究法講座，10，共立出版，177pp.（1979）
- 高橋啓二：ヒノキを主体とした天然林植生に与える伐採および育林作業の影響，一次生産の場となる植物群集の比較研究，昭和 42 年度報告 JIBP-CT (P)，96～105（1968）
- 武田明正，梅林正直，島地岩根，山下善平：森林の環境形成作用に関する研究第一報スギ壮令林とその新植地との間における環境要素の比較，三重大学環境科学研究紀要，2，49～68（1977）
- 谷本丈夫：林業における雑草木の防除に関する研究の展開（Ⅰ）—戦前期の研究概要と問題点—，雑草研究，25（2），79～87（1980 a）
- 谷本丈夫：林業における雑草木の防除に関する研究の展開（Ⅱ）—戦後期の研究概要と問題点—，雑草研究，25（3），165～172（1980b）
- 埴田 宏：林内の相対積分照度と林床植生の関係，日林九州支論，34，161～162（1981）
- 坪山良夫：間伐による熱・水分環境の変動，森林総研所報，7，4～5（1989）
- 坪山良夫，近嵐弘栄，竹内信治，平 和敬：間伐による熱・水分環境の変動，農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究（グリーンエナジー計画），昭和 59 年度研報，農林水産技術会議，250～251（1985）
- 坪山良夫，近嵐弘栄，竹内信治，平 和敬：間伐による熱・水分環境の変動，農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究（グリーンエナジー計画），昭和 60 年度研報，農林水産技術会議，208～209（1986）
- 坪山良夫，志水俊夫，近嵐弘栄，竹内信治，服部重昭，平 和敬：間伐にともなう林地の熱・水収支の変動，グリーンエナジー計画成果シリーズⅢ系（生産環境），5，農林水産技術会議，29～49（1989）
- 辻村 透，山本幸右，荻住 昇：電算機による林床植生の解析，32 回日林関東支論，31～32（1980）
- 薄井 宏：人工造林地の植物社会学的研究 1. 宇都宮大学船生演習林の植生図示と造林学的意義，宇大演報，4～5，27～58（1966）
- 薄井 宏，加藤正樹：人工林の植物社会学的研究（3）—カナワラビ型林床植物の塩類濃度と生態学的意義—，[森林生態学論文集—鈴木時夫博士退官記念—]（薄井 宏編），農林出版，197～

220 (1976)

早稲田 収：非皆伐作業法（その 2）多段林作業 総説，[これからの森林施業 森林の公益的機能と木材生産の調和を求めて一]（坂口勝美監修），全国林業改良普及協会，360～373（1975）

早稲田 収：林内光環境の経年変化，林試研報，323，74～78，（1983）

山本和彦，武田明正：人工林における林床植物群落に関する研究（Ⅲ）—林床植物群落の有無と表層土壌の移動量との関係—，27 回日林中部支講，45～47（1979）

山本進一，赤井龍雄，寺崎康正：ヒノキ林内植生の動態に関する研究（I）—木本種個体群の分布様式の解析—，88 回日林論，245～248（1977）

依田恭二：森林の生態，築地書館，331 pp.（1971）

吉村健次郎，赤井龍男，真鍋逸平，相場芳憲，杉浦孝蔵，有光一登，本城尚正：人工降雨によるヒノキ林内の落葉，土壌等の流出移動について（Ⅲ）—保育の異なる壮齡林分のリター，表層土の移動量—，92 回日林論，215～216（1981）

吉村健次郎，赤井龍男，真鍋逸平，相場芳憲，杉浦孝蔵，石井 弘，本城尚正：人工降雨による林内の落葉，土壌等の流出移動（VI）—スギ林とヒノキ林におけるリター・表層土の移動量の差異—，93 回日林論，347～348（1982）

ZON, R. and H.S. GRAVES: Light in relation to tree growth, U.S. Department of Agriculture, Forest Service 92, Washington, 59 pp. (1911)

Dynamics and Control of Understories in *Chamaecyparis obtusa* Plantations

KIYONO, Yoshiyuki⁽¹⁾

Summary

The author studied the dynamics of understories in *Chamaecyparis obtusa* (hinoki) plantations located in the laurel forest zone of Japan. Among the control (unthinned) stands, the coverage, the leaf mass, the leaf production, and the number of species in the understories were greater in the stands elder than about 40-year-old and less in the younger stands. Among the stands elder than about 40-year-old, the leaf mass, the leaf production, and the shrub layer coverage in the understories of the thinned stands were greater than these of the unthinned stands. The key factor on the behavior of understories was light condition. The site class based on moisture condition (hereafter, site class) was also an influential factor when the light condition was considerably improved.

The classification of tree height in the understories was hardly made in a young stand. However, two or three layers were usually found in the stands elder than about 40-year-old. In the thinned stands, the classification of the layers was easy, especially on wet sites. The shrub layer in the control stand was dominated by evergreen broad-leaved species. In the thinned stand, however, many deciduous broad-leaved trees were found. The life span of the trees germinated in a young stand was shorter. However, some of the trees germinated in the elder stand, especially those germinated just before or after the thinning, had a longer life span and composed a shrub layer.

The diagrams for estimating relative light intensity under a canopy (RLIa) were proposed (for instance, Fig. 63). Every diagram is composed of three kinds of lines (CCL, CLR and CLP). The upper-most line among the parallel lines from lower-left to upper-right in Fig. 63 is the canopy closure line (CCL) showing the relation between stand density and mean crown length in a closed stand. The parallel lines from lower-left to upper-right in Fig. 63 are a set of the contour lines of RLIa (CLR) showing the relation between a^* (defined as the ratio of mean crown length of the stand to the square root of mean land area per tree) and RLIa. The broken lines from lower-left to upper-right in Fig. 63 are a set of the contour lines of the period required for canopy closure (CLP) showing the relation between a^* and the period required for canopy closure. The annual changes in RLIa after thinning and/or pruning can be estimated by the diagram. Moreover, the diagram is applicable to the selection of the intensity and frequency of thinning and/or pruning for keeping the expected RLIa. However, these three lines are also affected by the stand height growth. Figs. 63, 64, and 65 are applicable to stands whose mean height growth is 0.3, 0.2, and 0.1 m/y, respectively.

Received October 30, 1989

(1) Kansai Research Center

The author modified the method of estimating height growth of a tree in the shade by MONSI · OSHIMA (1955) and showed the method of estimating the growth of the understory height, the shrub layer coverage, and the herb layer coverage in relation to RL1a and site class of the stand.

A dynamic model for understories (Fig. 46 shows a general description of the model) was proposed based on the above-mentioned results. The annual changes in the RL1a and the understory height in the stands established under various conditions of tending and site were estimated by the model and the methods of thinning and pruning for improving the growth of understories were shown.